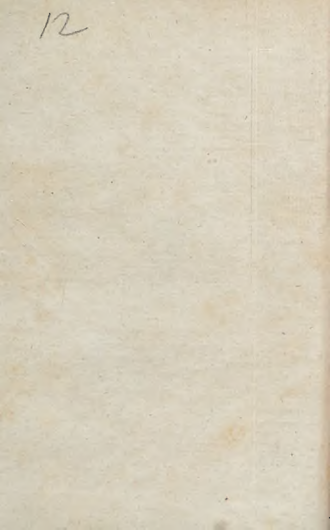





12

CARTAS

DE

LEONARDO EULER

Á UNA PRINCESA DE ALEMANIA.



Se hallará en el despacho de libros de don José del Collado, calle de la Montera.

CARTAS

DE

LEONARDO EULER

Á UNA PRINCESA DE ALEMANIA

sobre varias materias de física y de filosofía

TRADUCIDAS

CON NOTAS Y ADICIONES

POR

D. Juan Lopez de Peñalver,

del Consejo de S. M. y Ministro que fue de la extinguida Junta general de Comercio, Moneda y Minas, de la Academia nacional de España, de la Academia de ciencias naturales y artes de Barcelona y de la Academia médica de Madrid; Académico de honor de la de san Fernando de Madrid, y de la de san Luis de Zaragoza; de las Sociedades económicas de Madrid, Valencia, Avila, &c.

TOMO I.

MADRID,

IMPRENTA DE DON JOSÉ DEL COLLADO.

1822.

En una larga temporada en que acometido de fuertes ataques de nervios, me ví precisado á suspender otras tareas, que aunque de mucho recreo, exîgian cierta atencion que agravaba mi dolencia, me divertia traduciendo las cartas de Euler. Tenia hecha la mayor parte, quando otras ocupaciones y mejor salud, me hiciéron abandonar este entretenimiento, quedando todo ello olvidado por espacio de siete años. Al cabo de este tiempo, una casualidad me hizo pensar en el asunto, y creí que esta obrita podria servir para la instruccion de la juventud, poniéndole algunas notas y adiciones con la sencillez y claridad que me fuese posible. Este es el hecho, y este es el objeto.

No creo que nadie negará la importancia de conocer las causas de los efectos naturales que continuamente tenemos delante de los ojos. La historia nos suministra bastantes exemplos, de miserias, injusticias y persecuciones, originadas de la ignorancia de estas causas: las Ciencias y las Artes nos dan pruebas de la utilidad de estos conocimientos. No solo son útiles y agradables, sino que me parece algo ruboroso el ignorar ab-

solutamente tantos efectos naturales como se nos presentan diariamente. Este descuido, esta especie de inaccion, en que crece y vive la juventud, acostumbrándose á mirar con indiferencia quanto debiera llamar su atencion, amortigua en ella la curiosidad que es el principio del saber. Indiferentes á todo, qualquier respuesta les satisface; y por falta de conocer lo que ignoran, se hacen orgullosos, y tienen á ménos el oir hablar de estas materias, despreciando á veces á los que debieran honrar.

Pero si me parece que la falta de estos conocimientos entorpece la facultad de pensar, y priva á la juventud de unos placeres puros y utilísimos, al mismo tiempo veo bastante disculpa en quienes no los adquieren. Faltan libros sencillos y claros para esta instruccion; á que si se quiere, se puede llamar superficial; pero que siempre es útil, y es la que se puede esperar tengan generalmente los hombres. Estamos empeñados en que lo han de saber todo ó nada, y logramos esto último. Presentemos á todos lo que puedan aprender buenamente, y acaso este será el medio de que muchos se aficionen y profundicen en la materia, si sus ocupacio-

nes se lo permiten. Hagamos mas inteligibles las Ciencias, y serán mas apreciadas.

Los cálculos que suelen encontrarse en las obras de Física, retraen á muchos de su estudio. Es cierto que sin el cálculo se ignorarian todavía muchos puntos de esta ciencia; y otros no pueden entenderse bien sin su auxîlio; pero esto no debia ser impedimento para ofrecer á la juventud todo aquello que concibiera fácilmente.

El estudio de las Matemáticas será siempre utilísimo, y en particular á los que se dediquen á la Física; pero todos lo creen mas difícil de lo que es. El Algebra es un idioma, y su utilidad merecia que se emplease en su estudio, el mismo tiempo que se gasta en aprender el frances ó el ingles. Esta gramática de las Matemáticas es mas sencilla que qualquiera otra, y una vez comprehendida, se ve que todo lo demas se reduce á raciocinar sobre diferentes objetos. Es verdad que con este idioma sucede lo mismo que con los demas; se olvida si no hay exercicio; pero quando se fixa la atencion en el método y en las verdades que se aprenden, y no en lo material del lenguage, aunque se olvide este, queda lo mas importante, que son las

mismas verdades. Tambien es cierto que en los tratados elementales, no se presentan estas ciencias con la claridad y método que ha mucho tiempo se desea. Sea por falta de buenos estudios preliminares, sea por otros motivos, lo cierto es que los primeros principios son los mas confusos, y entónces el principiante, sin saber el objeto que se propone, ni distinguir el fin de los medios, ó desmaya si reflexîona, ó se aplica á lo material del cálculo, creyendo que esto es lo esencial.

Para la traduccion de estas cartas me valí de la edicion de Paris de 1787, la que está expurgada de algunas reflexîones teológicas, que no debian dexarse. Los editores anunciáron ciertas *adiciones* que nunca saliéron, y que el público esperaba con justo motivo. Las mias van puestas en el discurso de la obra. Con este motivo he tenido que dividirla en quatro tomos, en lugar de tres de que se compone el original.

VIDA

DE LEONARDO EULER.

Leonardo Euler, Director de la clase de Matemáticas en la Academia de Petersbourg, y ántes en la de Berlin; de la Sociedad Real de Londres, de las Academias de Turin, Lisboa y Basilea; Asociado extrangero de la de Ciencias de Paris, nacio en Basilea el 15 de Abril de 1707, de Pablo Euler y de Margarita Brucker.

Su padre en 1708 nombrado Párroco del pueblo de Riechen cerca de Basilea, fué su primer Preceptor, y no tardo en gozar el placer de ver aquellas esperanzas del talento y de la gloria de un hijo, tan dulces para un corazon paternal, nacer y crecer á su vista y por su cuidado.

Pablo Euler habia estudiado las Matemáticas con Jayme Bernoulli. Este hombre ilustre reunia á un talento particular para las ciencias, una Filosofía profunda, que no siempre va con aquel, y que sirve para darle mas extension y

hacerle mas útil. En sus lecciones, hacia ver á sus discipulos que la Geometría no es una ciencia aislada, y se la presentaba como la base y la clave de todos los conocimientos humanos; como la ciencia en que mejor se pueden observar los progresos del espíritu; la que mas útilmente exercita nuestras potencias, pues da al entendimiento vigor y exâctitud á un tiempo; finalmente como un estudio precioso así por el número ó la variedad de sus aplicaciones, como por la ventaja de habituarse á un método de raciocinar, que es aplicable despues á la inquisicion de todo género de verdades, y a guiarnos en la conducta de la vida.

Penetrado del espiritu de su maestro, enseñó Pablo Euler los elementos de Matemáticas á su hijo, no obstante que le destinaba al estudio de la Teología; y quando el jóven Euler fué á la Universidad de Basilea, se halló digno de oir las lecciones de Juan Bernoulli. Su aplicacion, sus buenas disposiciones le grangeáron al punto la amistad de Daniel y de Nicolas Bernoulli, discípulos y rivales de su padre, y aun tuvo

la fortuna de conseguir la del severo Juan Bernoulli, quien se prestó voluntariamente á darle cada semana una leccion particular, destinada á aclararle las dificultades que encontraba en su lectura y en sus tareas. Los demas dias los empleaba Euler en prepararse para aprovechar este favor distinguido.

Un método tan excelente le libraba de luchar contra obstáculos insuperables, y de extraviarse en las nuevas sendas que procuraba abrirse; pero al mismo tiempo le obligaba á sacar todas sus fuerzas, las que aumentaba con un exercicio proporcionado á su edad y á la extension de sus conocimientos.

Esta fortuna no le duró largo tiempo, pues apénas obtuvo el título de maestro en Artes, quando su padre, que le destinaba á sucederle, le obligó á dexar las Matemáticas por la Teología. Por fortuna este rigor solo fué pasagero, porque fácilmente se le dió á conocer que su hijo habia nacido para ocupar en la Europa el lugar de Juan Bernoulli, y no para ser Párroco de Riechen.

Una obra que Euler compuso á los

diez y nueve años sobre la arboladura de los navios, asunto propuesto por la Academia de las Ciencias, obtuvo el *accessit* en 1727; honor singular por quanto el jóven habitador de los Alpes no tuvo el auxîlio de ningun conocimiento práctico, y solo fué vencido por M. Bouguer, hábil Geómetra, que estaba en la flor de su talento, y habia dos años que era Profesor de Hidrografia en una ciudad maritima.

En este mismo tiempo se oponia Euler á una cátedra de la Universidad de Basilea; pero la suerte es quien decide entre los doctos que disputan estas plazas, y no fué favorable, no dirémos á Euler, sino á su patria, que lo perdió pocos dias despues y para siempre. Dos años ántes, habian sido llamados á Rusia Nicolas y Daniel Bernoulli. Euler que los vió partir con pesar, obtuvo de ellos la promesa de procurarle el mismo honor, de que él deseaba participar, y lo que no debe parecer extraño. El esplendor de la capital de un grande Imperio, aquel brillo que esparciéndose sobre las tareas á que sirve de teatro, y sobre los

hombres que la habitan, parece aumentar su gloria, puede fácilmente seducir la juventud, y hacer impresion en el ciudadano libre, pero pobre y obscuro, de una reducida república. Los dos Bernoullis, fieles á su palabra, pusiéron tanta diligencia para traer á su lado un rival poderoso, como otros hombres ordinarios la habrian empleado para alejar sus competidores.

Leonardo Euler emprendió su viage baxo tristes auspicios. Pronto supo que Nicolas Bernoulli habia sido víctima del rigor del clima; y el dia mismo que entró en las tierras del Imperio Ruso, fué el de la muerte de Catalina I, suceso que al principio pareció amenazar el fin próxîmo de la Academia, que esta Princesa, fiel al voto de su esposo, acababa de fundar. Euler, léjos de su patria, no teniendo como Daniel Bernoulli, un nombre célebre y respetado que mostrar, tomó la resolucion de entrar en la marina Rusa. Uno de los Almirantes de Pedro I le habia ya prometido una plaza, quando por fortuna de la Geometría, la tempestad levan-

tada contra las ciencias se disipó. Euler obtuvo el título de Profesor, sucedió en 1733 á Daniel Bernoulli, quando este hombre ilustre se retiró á su patria; y el mismo año casó con la Señora Gsell su paisana, hija de un Pintor, á quien Pedro I traxo á Rusia de vuelta de su primer viage. Desde entónces, para servirnos de la expresion de Bacon, conoció Euler que habia dado rehenes á la fortuna, y que el pais donde podia esperar el formar un establecimiento para su familia, era ya para él una patria necesaria. Nacido en un pais donde el respeto á las leyes se extiende hasta los usos mas indiferentes, si la antigüedad ó la opinion vulgar los ha consagrado, Euler se hallaba en un pais donde el Príncipe exerce una autoridad sin límites, donde la ley mas sagrada de los gobiernos, la que regla la sucesion al Imperio, estaba entónces incierta y despreciada; donde unos xefes, esclavos del soberano, reynaban despóticamente sobre un pueblo esclavo; y en el momento en que aquel Imperio, gobernado por un extrangero ambicioso, difidente y cruel,

gemia baxo la tirania de Biren, y ofrecia un espectáculo tan espantoso como instructivo, á los sabios que venian a buscar en su seno la gloria, la fortuna, y la libertad de gozar en paz de las dulzuras del estudio.

Cada uno conoce lo que padeceria el alma de Euler, ligado á aquella morada por una cadena imposible de romper. Acaso á esta circunstancia de su vida se debe aquella constancia en el trabajo, cuyo hábito tomó entónces, y que fué su único recurso en una capital en que solo se hallaban satelites o enemigos del ministro, los unos ocupados en lisonjear sus sospechas, y los otros en evadirse de ellas. Tal fué la impresion que esto hizo en Euler, que la conservaba todavia quando en 1741, el año despues de la caida de Biren, á cuya tirania sucedió un gobierno mas moderado y mas humano, se ausentó de Petersbourg para Berlin, adonde le habia llamado el Rey de Prusia. Allí fué presentado á la Reyna madre. Esta Princesa se complacia en la conversacion de los hombres ilustrados, y los acogia con

aquella noble familiaridad que anuncia en los Principes el sentimiento de una grandeza personal, independiente de sus titulos, y que se ha hecho uno de los caracteres de aquella augusta familia. Sin embargo, la Reyna de Prusia no obtuvo de Euler sino monosilabos; y reprehendiendole esta timidez, y aquel disgusto que no quisiera inspirar, le dixo: *¿Por qué pues no quereis hablarme?— Señora*, le respondió, *porque vengo de un pais, donde ahorcan al que habla.*

Llegando al punto de dar cuenta de las tareas inmensas de Leonardo Euler, he conocido la imposibilidad de especificarlas, de dar á conocer tantos descubrimientos, tantos métodos nuevos, tantas miras ingeniosas, esparcidos en mas de treinta obras publicadas separadamente, y en cerca de setecientas Memorias, cerca de doscientas de las quales depositadas en la Academia de Petersbourg, ántes de su muerte, están destinadas á enriquecer la coleccion que publica.

Pero un carácter particular me ha parecido distinguirle de los hombres ilustres que siguiendo la misma carrera,

han merecido la gloria que la suya no ha eclipsado; y es el haber abrazado las Ciencias Matemáticas en su universalidad, haber sucesivamente perfeccionado sus diferentes partes, y enriqueciéndolas todas con descubrimientos importantes, haber producido una revolucion en el modo de tratarlas. He creido pues que formando una tabla metódica de los diversos ramos de estas ciencias, señalando los progresos, las mudanzas favorables que cada uno de ellos ha debido al superior talento de Euler, habré dado, á lo ménos en quanto mis fuerzas lo permitan, una idéa mas cabal de este célebre hombre, quien por la reunion de tantas qualidades extraordinarias, ha sido, digamoslo así, un fenómeno de que la historia de las Ciencias no nos habia dado todavía ningun exemplo.

La Algebra habia sido por mucho tiempo una ciencia muy limitada. El modo de considerar la idéa de la magnitud en el último grado de abstraccion á que puede llegar el espiritu humano; el rigor con que se separa de esta idéa

todo lo que ocupando la imaginacion pudiera dar algun apoyo ó algun descanso á la inteligencia; finalmente la suma generalidad de los signos que esta ciencia emplea, la hacen en cierto modo, extrangera á nuestra naturaleza, la alejan demasiado de nuestros conceptos ordinarios para que el espíritu humano se complazca en ella, y adquiera fácilmente el hábito. El camino mismo de los métodos algebráicos cansaba aun á los hombres mas propios para estas meditaciones: por poco complicado que sea el punto que se exâmina, hay que olvidarlo enteramente para no pensar sino en las fórmulas: el camino es seguro, pero el término á que se ha de llegar, el punto de donde se partió, desaparecen ámbos de la vista del Geómetra; y ha sido menester largo tiempo para atreverse á perder de vista la tierra, y entregarse á la fe de una ciencia nueva. Así es que registrando las obras de los grandes Geómetras del siglo pasado, de aquellos mismos á quienes el Algebra debe los mas importantes descubrimientos, se verá quan poco acostumbrados

estaban á manejar este mismo instrumento que ellos han perfeccionado, y no se podrá dexar de mirar como obra de Euler, la revolucion que ha hecho de la analisis algebráica, un método luminoso, universal, fácil, y aplicable á todo.

Asi pues, á ciertas épocas ó despues de grandes esfuerzos, parece que las ciencias Matemáticas han apurado todos los recursos del espíritu humano, y llegado al término señalado á sus progresos; quando en un momento viene un nuevo método de cálculo á introducirse en ellas, dándoles un nuevo aspecto, y al instante se enriquecen rápidamente con la solucion de muchos problemas importantes, que los Geometras no habian osado emprender, retraidos por la dificultad, ó mas bien por la imposibilidad física de dirigir sus cálculos hasta un resultado real. Tal vez pedia la justicia que se reservase al que supo introducir y hacer usuales estos métodos, una parte de gloria de la que adquieren los que los emplean felizmente; pero á lo menos tiene á su reconocimiento un derecho que no podrán negar sin ingratitud.

Leonardo Euler no dexó por tocar ninguna parte de la analisis: demostró algunos teoremas de Fermat acerca de la analisis indeterminada, y encontró muchos otros no ménos curiosos ni ménos difíciles de descubrir. La marcha del caballo en el juego del axedrez, y varios otros problemas de situacion, picáron su curiosidad, y diéron exercicio á su ingenio, mezclando con las mas importantes indagaciones estos entretenimientos, por lo comun mas difíciles, pero casi inútiles así á los progresos de la ciencia, como á las aplicaciones intentadas hasta ahora. Su sabiduría no dexaba de conocer el inconveniente de entregarse por largo tiempo á estas tareas de pura curiosidad; pero al mismo tiempo su ingenio fecundo veia que la inutilidad habia de ser momentánea, y que el único modo de que cesase era profundizarlas y generalizarlas.

Las qüestiones particulares que no pertenecen al cuerpo metódico de las ciencias Matemáticas, ni entran en las aplicaciones que se pueden hacer, no se han de mirar únicamente como medios

de exercitar y hacer brillar el ingenio de los Geómetras: casi siempre en las Ciencias se empieza cultivando separadamente algunas partes sueltas; al paso que los descubrimientos se multiplican, el enlace entre estas partes se va dexando ver; y las mas veces á la luz que resulta de esta reunion, se deben los mayores descubrimientos que forman época en la historia del espíritu humano.

Concluirémos la exposicion de las tareas de Euler en la analisis pura, observando quan injusto sería ceñir su influencia en los progresos de las Matemáticas, al sin número de descubrimientos de que sus obras están llenas. Las comunicaciones que ha abierto entre todas las partes de una ciencia tan vasta; aquellas miras generales, que á veces no las indica, pero las descubre el espíritu atento; aquellas sendas, en que se contentó con abrir la entrada y allanar los primeros obstáculos, son otros tantos beneficios con que se enriquecerán las Ciencias, y de que gozará la posteridad, olvidando acaso la mano de quien las ha recibido.

El tratado de Mecánica que Euler publicó en 1736, es la primera obra maestra, en que haya sido aplicada la analisis á la ciencia del movimiento. El número de cosas nuevas, ó presentadas de un modo nuevo, que se hallan en este tratado, habrian llenado de admiracion á los Geómetras, si Euler no hubiese ya publicado separadamente la mayor parte.

En sus numerosas tareas sobre la misma ciencia, siempre se valió de la analisis; y el uso que de ella ha hecho ha grangeado á este método la preferencia que al fin ha obtenido sobre todos los demas.

El problema de las cuerdas vibrantes, y todos los demas pertenecientes á la teoría del sonido o á las leyes de las oscilaciones del ayre, han sido sometidos á la analisis por los nuevos métodos con que Euler enriqueció el cálculo de las diferencias parciales. Una teoría del movimiento de los fluidos apoyada en este mismo cálculo, admiró por la claridad que se ve en unas qüestiones tan intrincadas, y la facilidad que supo dar

á unos métodos fundados en una analisis tan profunda.

Todos los problemas de la Astronomía Física que se han emprendido en este siglo, han sido resueltos por métodos analíticos peculiares de Euler. Su cálculo de las perturbaciones de la órbita terrestre, sobre todo su teoría de la Luna, son unos modélos de la sencillez, de la precision á que pueden llegar estos métodos; y al leer esta última obra admira tambien como un hombre de superior talento, animado del deseo de no dexar nada por hacer en una qüestion importante, puede llevar hasta tal punto la paciencia y el teson en trabajar.

La Astronomía solo usaba de métodos geométricos. Euler conocia lo que podian servirle los métodos analíticos, y lo probó con exemplos, que imitados despues por otros célebres sabios, podrán un dia dar á esta ciencia una forma nueva.

Abrazo la ciencia naval en una obra grande, á la que sirve de base una sabia analisis, en donde las qüestiones mas dificiles están sujetas á aquellos métodos generales y fecundos que tan bien sabia

crear y emplear. Largo tiempo despues, publicó sobre la misma materia un compendio elemental de este tratado, en el que comprehende del modo mas sencillo, lo que puede ser útil en la práctica, y lo que deben saber los que se dedican al servicio de mar. Esta obra, aunque destinada por el autor únicamente á las escuelas del Imperio de Rusia, le valió una pension del Rey de Francia, quien pensó que las tareas útiles á todos los hombres, tenian derecho al reconocimiento de todos los Soberanos, y quiso mostrar que, aun en los extremos de la Europa, los talentos singulares no podian esconderse ni de su vista, ni de sus beneficios. Euler agradeció esta señal de la estimacion de un Rey poderoso, y recibió nuevo precio á sus ojos por la mano que se la transmitia, que era la de Mr. Turgot, Ministro respetado en la Europa por sus luces y por sus virtudes, nacido para mandar á la opinion, mas bien que para obedecerla, y cuyo sufragio, siempre dictado por la verdad, y jamas por el deseo de ganar la aprobacion pública, podia lisonjear

á un sabio, demasiado acostumbrado á la gloria, para que pudiese todavía causarle novedad el rumor de su fama.

En los hombres de un talento superior, la extrema sencillez de carácter puede acomodarse con las qualidades del espíritu en que mas se dexa ver la habilidad ó la agudeza. Así Euler, á pesar de esta sencillez que jamas se desmintió en él, sabia distinguir con una sagacidad, indulgente á la verdad, las ofrendas de una admiracion ilustrada, y las que la vanidad prodiga á los hombres grandes para apropiarse á lo ménos el mérito del entusiasmo.

Sus tareas en la Dióptrica están fundadas en una analisis ménos profunda, lo que casi se le agradece como una especie de sacrificio. Los diferentes rayos de que está formado un rayo solar, padecen en el mismo medio diversas refracciones: separados de esta suerte de los rayos inmediatos, aparecen solos ó ménos mezclados, y dan la sensacion de color que les es propia. Esta refraugibilidad de cada rayo varía en diferentes medios, segun una ley que no es la mis-

ma que la de la refraccion media en estos medios. Esta observacion daba motivo á pensar que dos prismas desiguales y de diferentes materias, combinados entre sí, podrian separar de su direccion un rayo sin descomponerle, ó mas bien volviendo por una refraccion los rayos elementales á una direccion paralela.

De la verdad de esta conjetura podia depender, en los anteojos, la destruccion de los iris que coloran los objetos vistos al traves de los vidrios lenticulares. Euler estaba convencido de la posibilidad del buen éxito, fundado en esta idéa metafisica: *que si el ojo ha sido compuesto de diferentes humores, es únicamente con el designio de destruir los efectos de la aberracion de refrangibilidad.* Solo pues se trataba de imitar la operacion de la naturaleza, y propuso los medios para ello, en virtud de la teoria que se habia formado Sus primeros ensayos excitáron á los Físicos á pensar en un asunto que parece estaba olvidado: sus experimentos no concordáron con la teoría de Euler; pero confirmáron las idéas que habia tenido acerca de

la perfeccion de los anteojos. Sabedor entonces de las leyes de la dispersion en los diferentes medios, abandonó sus primeras idéas, sujetó al cálculo los resultados de los experimentos, y enriqueció la Dioptrica con fórmulas analiticas, simples, cómodas, generales, aplicables á todos los instrumentos que pueden construirse.

Hay tambien de Euler algunos ensayos sobre la teoría general de la luz, en que procuraba conciliar los fenómenos con las leyes de las oscilaciones de un fluido: porque la hipótesis de la emision de los rayos en línea recta, presentaba á su parecer dificultades insuperables. La teoría del iman, la de la propagacion del fuego, las leyes de la cohesion de los cuerpos, y las de los rozamientos, le sirviéron tambien de ocasion para sabios cálculos, apoyados por desgracia mas bien en supuestos que en experimentos.

El cálculo de las probabilidades, la Aritmética política, fuéron tambien objeto de sus infatigables tareas. No citarémos mas que sus investigaciones sobre las tablas de mortalidad, y sobre los

medios de deducirlas de los fenómenos con mas exâctitud: su método de tomar un medio entre varias observaciones: sus cálculos sobre el establecimiento de un monte pio, cuyo objeto era asegurar á las viudas y á los hijos, ó una suma fixa, ó una renta pagadera, despues de la muerte de un marido ó de un padre: medio ingenioso imaginado por Geómetras filosofos para contrabalancear el mal moral que resulta del establecimiento de rentas vitalicias, y para hacer útiles á las familias los mas cortos ahorros que pueden hacer en su ganancia diaria, ó en su sueldo, sea de una comision o de un empleo.

Daniel Bernoulli fué el único que partio con Euler la gloria de haber ganado trece premios en la Academia de las Ciencias de Paris. Varias veces trabajáron en un mismo asunto, y el honor de aventajar á su competidor fué tambien partido entre ámbos, sin que jamas esta rivalidad haya turbado las muestras reciprocas de su estimacion, ni resfriado su amistad. Exâminando los asuntos en que uno y otro han alcanza-

do la victoria, se ve que el éxîto ha dependido particularmente del carácter de su talento. Si la qüestion pedia destreza en el modo de mirarla, uso feliz de la experiencia, ó idéas de fisica ingeniosas y nuevas, la ventaja era de Daniel Bernoulli; pero si habia que vencer grandes dificultades de cálculo, si era necesario crear nuevos métodos de analisis, Euler la tenia; y si se tuviese la temeridad de querer juzgarlos, no habria que decidir entre dos hombres, sino entre dos géneros de ingenio, entre dos modos de emplear el talento.

Seria una idéa muy imperfecta de la fecundidad de Euler, si no añadiésemos á este débil bosquejo de sus tareas, que hay pocos asuntos importantes en que no haya vuelto á exâminarlos, rehaciendo varias veces su primera obra. A veces substituia un método directo y analítico á un método indirecto; á veces extendia su primera solucion á los casos que al principio se le pasaban, añadiendo casi siempre nuevos exemplos, que sabia escoger con un tino singular entre los que ofrecian, o alguna aplicacion útil,

ó alguna nota curiosa. Sola la intencion de dar á su trabajo una forma mas metódica, de aclararlo mas, de añadirle un nuevo grado de sencillez, bastaba para determinarle á tareas inmensas. Jamas hubo Geómetra que escribiese tanto, ni jamas hubo quien diese á sus obras tal grado de perfeccion. Quando publicaba una Memoria sobre un asunto nuevo, exponia con sencillez el camino que habia seguido; hacia observar las dificultades y los rodeos; y despues de haber hecho seguir á sus lectores escrupulosamente la marcha de su espiritu en sus primeras tentativas, les mostraba luego el como habia llegado á encontrar un camino mas sencillo. Así se ve que preferia la instruccion de sus discipulos á la pequeña satisfaccion de maravillarlos; y que no creia hacer bastante en favor de la ciencia, si á las verdades nuevas con que la enriquecia, no añadia la exposicion ingenua de las idéas que le habian guiado.

Quando se lee la vida de un grande hombre, sea conviccion de la imperfeccion anexa á la flaqueza humana, sea

que la justicia de que somos capaces no puede llegar hasta reconocer en nuestros semejantes una superioridad de que nada nos consuela ; sea en fin que la idéa de la perfeccion en otro nos afecta ó nos humilla mucho mas que la de la grandeza, parece que se siente la necesidad de encontrar alguna debilidad; se busca algun defecto que pueda ensalzarnos á nuestros propios ojos, y nos vemos involuntariamente inclinados á desconfiar de la sinceridad del escritor, si no nos muestra esta flaqueza, si no levanta el velo importuno con que están cubiertos estos defectos.

Euler parecia á veces que solo se poseia del placer de calcular, y miraba el punto de mecánica ó de física que exâminaba, únicamente como una ocasion de exercitar su ingenio, y de entregarse á su pasion dominante. Asi es que los sabios le han censurado el haber prodigado algunas veces el cálculo á hipótesis físicas, y aun á principios metafísicos cuya verosimilitud ó solidez no habia exâminado bastante; le han tambien criticado por haberse fiado demasiado en

los recursos del cálculo, descuidando los que podia darle el exâmen de las mismas qüestiones que se proponia resolver. Convendrémos en que la primera objecion no dexaba de tener fundamento: confesarémos que en Euler, el Metafisico y aun el Físico no fué tan grande como el Geómetra; y sin duda es lástima que muchas partes de sus obras, por exemplo, de las que hizo sobre la ciencia naval, y sobre la artillería no hayan sido casi útiles sino á los progresos del cálculo; pero creemos que el segundo reparo es mucho ménos fundado: en todas partes de las obras de Euler, se le ve ocupado en añadir algo á las riquezas de la analisis, en extender y multiplicar sus aplicaciones: al mismo tiempo que parece ser su único instrumento, se ve que lo ha querido hacer universal. El progreso natural de las ciencias Matemáticas debia causar esta revolucion; pero él la ha visto, por decirlo así, cumplirse á su vista; debémosla á su sublime ingenio; ha sido el premio de sus esfuerzos y de sus descubrimientos. Así pues, aun quando al parecer abusaba de

la analisis, y apuraba todos sus secretos para resolver una qüestion, en que algunas reflexiones agenas del cálculo le hubieran dado una solucion sencilla y fácil, entónces no buscaba mas que manifestar las fuerzas y los recursos de su arte; y se le debe disimular si alguna vez tratando de otra ciencia, solo consagraba en realidad sus tareas á los progresos y á la propagacion de la analisis; puesto que la revolucion, que ha sido el fruto de todo ello, es uno de sus principales derechos al reconocimiento de los hombres, y uno de sus mejores títulos para la gloria.

No he creido á propósito interrumpir la narracion de las tareas de Euler, con los sucesos sencillos, y poco numerosos de su vida. Se estableció en Berlin en el año de 1741, y allí permaneció hasta el de 1766.

La Princesa de Anhalt-Dessau, sobrina del Rey de Prusia, quiso recibir de Euler algunas lecciones de Física. Estas se publicáron con el título de *Cartas á una Princesa de Alemania*; obra preciosa por la claridad singular con que

ha expuesto las verdades mas importantes de la Mecánica, de la Astronomia-física, de la Optica y de la teoría de los sonidos, y por las miras ingeniosas, ménos filosóficas, pero mas sabias que las que han hecho sobrevivir la pluralidad de los mundos de Fontenelle al sistema de los torbellinos. El nombre de Euler, tan grande en las Ciencias, la idéa grandiosa que se forma de sus obras, destinadas á quanto la analisis tiene de mas espinoso y mas abstracto, dan á estas cartas, tan sencillas, tan fáciles, un atractivo singular. Los que no han estudiado las Matemáticas, admirados, lisonjeados acaso de poder entender una obra de Euler, le agradecen que se haya acomodado á sus alcances; y estos principios elementales de las Ciencias adquieren una especie de grandeza, quando se comparan con la gloria y el talento sublime del hombre ilustre que los ha formado.

El Rey de Prusia empleó á Euler en cálculos sobre las monedas, en la conduccion de las aguas de Sans-Souci, en el exâmen de varios canales de nave-

gacion. Aquel Príncipe no nació para creer que un gran talento y unos conocimientos profundos fuesen jamas qualidades superfluas o nocivas; ni que la dicha de poder ser útil, fuese un privilegio reservado por la naturaleza á la ignorancia y al charlatanismo.

En 1750 hizo Euler el viage á Francfort para recibir á su madre, entónces viuda, y traerla á Berlin: tuvo la fortuna de conservarla en su compañía hasta el año de 1761: once años gozó de la gloria de su hijo, como el corazon de una madre sabe gozar, acaso mas feliz todavía con sus caricias tiernas y contínuas, cuyo precio lo aumentaba esta gloria.

Durante la mansion de Euler en Berlin, enlazado por el reconocimiento con el Sr. de Maupertuis, se creyo obligado á defender aquel principio de la mínima accion, en que el Presidente de la Academia de Prusia tenia fundada la esperanza de un gran renombre. El medio que escogio Euler, no pudiera emplearlo otro que el: era pues resolver por aquel principio algunos de los prin-

cipales y mas dificiles problemas de la mecánica. De esta manera, en los tiempos fabulosos, los Dioses se dignaban de fabricar para los guerreros á quienes favorecian, armas impenetrables á los tiros de sus adversarios. Deseáramos que el reconocimiento de Euler se hubiese limitado á una proteccion tan noble y tan digna de él: pero no se puede disimular que usó de demasiada dureza en sus respuestas á Koenig; y nos vemos con dolor precisados á contar un hombre grande entre los enemigos de un sabio desgraciado y perseguido. Por fortuna, toda la vida de Euler lo pone al abrigo de otra sospecha mas grave: sin aquella sencillez, sin aquella indiferencia por la fama, que siempre mostró sin desmentirse, se podria creer que las chanzas de un ilustre partidario de Koenig, chanzas que el mismo Voltaire condenó á un justo olvido, habian alterado el carácter del prudente y pacífico Geómetra; pero si entonces cayó en una falta, debe atribuirse solamente al exceso de su reconocimiento; y solo por un sentimiento tan respetable fué in-

justo una sola vez en su vida.

Habiendo los Rusos penetrado en la Marca de Brandebourg en 1760, saqueáron una quinta que tenia Euler cerca de Charlottembourg; pero el General Tottleben no habia venido para hacer guerra á las Ciencias. Sabedor de la perdida que habia padecido Euler, no tardó en repararla, haciendo pagar el daño en un precio mucho mayor del valor real, y al mismo tiempo dió parte de esta falta de respeto involuntaria á la Emperatriz Elisabeth, quien añadió un don de quatro mil florines á una indemnizacion que ya era mas que suficiente. Este rasgo no ha sido conocido en Europa, miéntras citamos con entusiasmo algunas acciones semejantes, que nos han transmitido los antiguos. Esta diferencia en nuestros juicios, ¿no es una prueba de aquellos felices progresos de la especie humana, que algunos escritores se obstinan todavia en negar, sin duda por evitar que no les acusen de ser cómplices?

El gobierno de Rusia no habia tratado nunca á Euler como extrangero:

una parte de su sueldo se le pagó siempre aunque ausente; y habiendole llamado la Emperatriz en 1766, consintió en volver á Petersbourg.

En 1735, los esfuerzos que le costó un cálculo astronomico, para el qual los otros Academicos pedian muchos meses, y que Euler acabo en pocos dias, le habian causado una enfermedad, á que se siguió perder un ojo; tenia motivo para temer el quedar ciego, si se exponia de nuevo á un clima cuyo influxo le era contrario. El amor á sus hijos venció este temor; y si se atiende á que el estudio era para Euler una pasion exclusiva, se creerá sin duda que pocos exemplos de amor paternal han probado mejor que es el mas poderoso y mas dulce de nuestros afectos.

Pocos años despues sufrió la desgracia que habia previsto; pero por fortuna suya y de las Ciencias conservó la facultad de distinguir las letras grandes escritas con un puntero sobre una pizarra. Sus hijos y sus discípulos escribian lo demas de sus memorias que él les dictaba; y á juzgar por el número de

ellas, y á veces por la sublimidad que se advierte, se pudiera creer que la falta todavía mas absoluta de toda distraccion, y la nueva energia que este recogimiento forzado daba á todas sus potencias, le hiciéron ganar mas que lo que pudo la debilidad de vista hacerle perder en la facilidad y en los medios de trabajar.

Por otra parte Euler, por la naturaleza de su talento, por el hábito de su vida, se habia preparado, sin pensarlo, recursos extraordinarios. Exâminando aquellas grandes formulas analiticas tan raras ántes de él, tan freqüentes en sus obras, cuya combinacion y uso reunen tanta sencillez y elegancia; cuya forma misma agrada tanto á los ojos como al entendimiento, se ve que no son fruto de un cálculo hecho sobre el papel, y que producidas enteras en su mente, han sido creadas por una imaginacion igualmente fuerte que activa. Hay en la analisis, y Euler habia multiplicado el número, fórmulas de una aplicacion comun y contínua, las que siempre tenia presentes, las sabia de me-

moriá, las recitaba en la conversacion; y quando el Sr. d' Alembert le vio en Berlin, le maravilló un esfuerzo de memoria que suponia en el espíritu de Euler tanta claridad como vigor. Finalmente su facilidad en calcular de memoria llegaba á tanto, que apenas se creyera, si la historia de sus tareas no nos hubiese acostumbrado á los prodigios: se le ha visto, con la mira de exercitar á su nieto en sacar las raices, formarse la tabla de las seis primeras potencias de todos los números desde uno hasta ciento, y conservarla exâctamente en su memoria. Dos de sus discípulos habian calculado hasta el décimoseptimo término una serie convergente bastante complicada: sus resultados, aunque formados por un cálculo escrito, se diferenciaban en una unidad en la quinquagésima cifra: diéron parte de esta disputa á su maestro, y Euler hizo de memoria todo el cálculo, y se halló su decision conforme á la verdad.

Despues de la pérdida de su vista, no tenia mas diversion que hacer imanes artificiales, y dar lecciones de Ma-

temáticas á uno de sus nietos que le parecia anunciar buena disposicion.

Algunas veces iba todavia á la Academia, particularmente en las circunstancias críticas en que creia útil su presencia para mantener la libertad. Es fácil de ver lo mucho que un Presidente perpetuo, nombrado por la Corte, puede turbar el reposo de una Academia, y quanto se debe temer quando no siendo elegido en la clase de los sabios, no le detiene la necesidad que tiene su reputacion del sufragio de sus compañeros. Unos hombres únicamente ocupados en sus tareas pacíficas, sin saber hablar otro lenguage que el de las Ciencias ¿como podrian entónces defenderse, sobre todo si, extrangeros, sin proteccion, léjos de su patria, dependen enteramente del Gobierno, á que tienen que pedir justicia contra el xefe que les ha dado aquel mismo Gobierno?

Pero hay un grado de gloria en que desaparece el temor: tal es quando la Europa entera clamaria contra una injusticia personal hecha á un hombre grande: entónces puede sin riesgo des-

plegar contra la injusticia la autoridad de su nombre, y alzar en favor de las Ciencias una voz que no puede dexar de oirse. Euler, tan sencillo, tan modesto como era, conocia sus fuerzas, y mas de una vez las empleó felizmente.

En 1771, la ciudad de Petersbourg padecio un incendio horroroso: las llamas cundiéron hasta la casa de Euler. Un ciudadano de Basilea, cuyo nombre merece conservarse, llamado Pedro Grimm, sabe el peligro en que se ve su ilustre paisano, ciego y enfermo: precipítase al traves de las llamas, penetra hasta él, lo toma sobre sus espaldas, y sálvalo con riesgo de su vida. La librería, los muebles de Euler, quedáron abrasados; pero la viva diligencia del Conde Orloff salvó sus manuscritos; y esta atencion, en medio de la turbacion y de los horrores de aquel desastre, es una de las ofrendas mas verdaderas y mas halagüeñas que la autoridad pública ha hecho á las Ciencias. La casa de Euler era uno de los beneficios de la Emperatriz; otro nuevo beneficio reparó muy pronto su pérdida.

Tuvo de su primera esposa trece hijos, de los que murieron ocho de menor edad. Sus tres hijos le han sobrevivido; pero tuvo la desgracia de perder sus dos hijas en el último año de su vida: de treinta y ocho nietos, veinte y seis vivian todavía en la época de su muerte. En 1776 casó de segundas nupcias con la Señora Gsell, hermana del padre de su primera muger. Conservaba siempre la sencillez de costumbres de que su casa paterna le habia dado el exemplo. Mientras conservó la vista, juntaba todas las noches para rezar, sus nietos, sus criados y aquellos discipulos que habitaban en su casa: leiales un capítulo de la Biblia, y á veces acompañaba esta leccion con una exhortacion.

Era sumamente religioso, y hay de él una prueba nueva de la existencia de Dios, y de la espiritualidad del alma; y aun esta última ha sido adoptada en varias escuelas de Teología. Habia conservado escrupulosamente la religion de su patria, que es el calvinismo rigido, y no parece que á exemplo de la mayor parte de los sabios protestantes, se haya

atrevido á adoptar idéas particulares, y á formarse un sistema de religion.

Su erudicion era muy extensa, sobre todo en la historia de las Matemáticas: algunos quieren que haya llegado su curiosidad hasta instruirse en las formas y reglas de la Astrologia, y aun que hubiese hecho algunas aplicaciones. Sin embargo, quando en 1740 se le dió orden para sacar el horoscopo del Principe Yvan, represento que esto pertenecia al Sr. Kraff, quien en calidad de Astrónomo de la Corte, tuvo que hacerlo. Esta credulidad, que admira verla en esta época en la Corte de Rusia, era general un siglo ántes en todas las Cortes de Europa: las del Asia no han sacudido todavía este yugo; y es preciso confesar que si se exceptuan las máximas comunes de la moral, no hay verdad ninguna que pueda gloriarse de haber sido adoptada tan generalmente y por tan largo tiempo, como muchos errores, ó ridiculos o funestos.

Euler habia estudiado casi todos los ramos de la Fisica, la Anatomía, la Chímica, la Botanica; pero su superioridad

en las Matemáticas no le dexaba hacer el menor caso de estos otros géneros de conocimientos, aunque bastante extensos para que un hombre mas sensible á las pequeñeces del amor propio, hubiese aspirado á una especie de universalidad.

El estudio de la literatura antigua y de las lenguas sabias, fué parte de su educacion: este gusto lo conservó toda su vida, sin olvidar nada de lo que habia aprendido; pero nunca tuvo ni tiempo ni deseos de añadir nada á aquellos primeros estudios: no habia leido los poetas modernos, y sabia de memoria la Eneida. Sin embargo, no perdia de vista las Matemáticas aun quando recitaba los versos de Virgilio: todo era á proposito para recordarle aquel objeto casi único de sus pensamientos; y en sus obras se encuentra una sabia memoria sobre una qüestion de Mecánica, que él mismo refiere haberle sugerido la idéa un verso de la Eneida.

Se dice que para los hombres de superior talento, el placer del trabajo es una recompensa mayor que la gloria: si se necesitase probar con exemplos es-

ta verdad, el de Euler no dexaria ninguna duda.

Jamas en sus sabias discusiones con Geometras celebres, ha dado la menor señal por donde se pudiese sospechar que pensase en los intereses de su amor propio: jamas reclamo ningun descubrimiento; y si alguno revindicaba alguna cosa en sus obras, era solicito en reparar una injusticia involuntaria, sin detenerse á exâminar si la equidad rigurosa exîgia de el un total abandono. Que le notasen algun error; si la censura era infundada, la olvidaba; si era justa, se corregia sin pensar siquiera en observar que, por lo regular, el mérito de los que se alababan de haber notado algun yerro, consistia solamente en una aplicacion fácil de los metodos. que el mismo les habia enseñado, á unas teorías en que tambien habia ántes allanado las mayores dificultades.

Casi siempre los hombres medianos procuran darse valor con una severidad proporcionada á la alta idea que quieren inspirar de su juicio o de su talento: inexorables para todo lo que es superior á

ellos, no perdonan ni aun la inferioridad: pudiera decirse que un sentimiento secreto les advierte la necesidad que tienen de abatir á los demas. Al contrario, el primer movimiento de Euler le llevaba á celebrar el talento, desde el instante que algunos anuncios felices llegaban á su vista, sin esperar que la opinion pública solicitase su sufragio. Vésele gastar su tiempo en resolver problemas ya resueltos, que no le dexaban mas mérito que el de mayor elegancia y de método, con el mismo ardor y la misma constancia que habia empleado en inquirir una nueva verdad, cuyo descubrimiento hubiera aumentado su gloria. Por otra parte, si el deseo ardiente de la gloria hubiera exîstido en lo íntimo de su corazon, la franqueza de su genio no le dexara ocultar sus movimientos. Pero esta gloria, de que hacia tan poco caso, vino á buscarle. La fecundidad singular de su talento admiraba aun á aquellos que no se hallaban en estado de entender sus obras. Aunque entregado únicamente á la Geometria, su reputacion se extendio entre los hom-

bres que ménos cultivaban esta Ciencia; y fué para la Europa entera, no solo un gran Geómetra, sino un grande hombre. Es uso en Rusia conceder grados militares á hombres que no están en el servicio; de esta suerte hacen ofrenda á la preocupacion que miraba esta profesion como la única que fuese noble, y al mismo tiempo reconocen toda su falsedad. Algunos sabios han llegado hasta el grado de General: Euler no los tuvo ni queria tener ningun título; ¿y quál era el que podia honrar al nombre de Euler?

La mayor parte de los Príncipes del norte, de quienes era personalmente conocido, le han dado muestras de su estimacion, ó mas bien de la veneracion que no se podia negar á la reunion de una virtud tan sencilla, y de un talento tan extenso y tan sublime. En el viage que el Príncipe Real de Prusia hizo á Petersbourg, se adelanto en visitar á Euler, y pasó algunas horas junto al lecho de este ilustre anciano, teniendo enlazadas sus manos con las de Euler, y sobre sus rodillas un nieto de Euler, cuya inclinacion temprana á la Geometría,

le habia hecho el objeto particular de su ternura paternal.

Todos los Matemáticos célebres que hoy existen, son sus discipulos: no hay uno que no se haya instruido en la lectura de sus obras; que no haya recibido de él las formulas, el método que emplea; que en sus descubrimientos no vaya guiado y sostenido por el talento de Euler. Debe este honor á la revolucion que ha hecho en las ciencias Matemáticas, sometiéndolas todas á la analisis; á su fuerza para trabajar, que le ha permitido abrazar toda la extension de estas ciencias; al órden que ha puesto en sus obras; á la sencillez, á la elegancia de sus formulas; á la claridad de sus métodos y demostraciones, aumentada todavía mas con la multitud y la eleccion de los exemplos. Ni Newton, ni aun Descartes, cuyo influxo ha sido tan poderoso, no obtuviéron esta gloria; y hasta ahora, solo entre los Geometras, Euler la ha poseido entera.

Pero como profesor, ha formado discípulos que le pertenecen mas particularmente, entre los quales citarémos

su hijo mayor, á quien ha escogido la Academia de las Ciencias para ocupar su lugar, sin temor de que esta honrosa sucesion, concedida al nombre de Euler como al de Bernoulli, pueda ser un exemplo perjudicial: otro hijo segundo, dedicado en el dia al estudio de la Medicina, pero que en su juventud ganó en la Academia de Paris un premio sobre las alteraciones del movimiento medio de los planetas: el Sr. Lexell de quien una muerte prematura ha privado á las Ciencias; finalmente el Sr. Fuss, el mas jóven de sus discípulos, compañero en sus últimas tareas, quien, enviado desde Basilea á Euler por Daniel Bernoulli, se ha mostrado en sus obras digno de la eleccion de Bernoulli, y de las lecciones de Euler; y quien despues de haber presentado en la Academia de Petersbourg una ofrenda pública á su ilustre maestro, se ha unido á su nieta.

De diez y seis profesores de la Academia de Petersbourg, ocho fuéron sus discípulos, y todos, conocidos por sus obras y condecorados con títulos académicos, se gloriaban de poder añadir

á ellos el de discípulos de Euler.

Conservaba enteramente su facilidad, y al parecer todas sus fuerzas, sin que ninguna mudanza anunciase que las Ciencias estaban amenazadas de perderle. El dia 7 de Setiembre de 1783, despues de haberse divertido en calcular sobre una pizarra, las leyes del movimiento ascencional de las máquinas aerostáticas, cuyo reciente descubrimiento llamaba la atencion de la Europa, comió con el Sr. Lexell y su familia, habló del planeta Herschell, y de los cálculos que determinan su órbita: poco tiempo despues mandó venir su nieto, con el que se entretenia tomando algunas tazas de té, quando de improviso, la pipa que tenia en la mano se le cayó, y cesó de calcular y de vivir.

Tal fué el fin de uno de los hombres mas grandes y mas extraordinarios que jamas produxo la naturaleza, cuyo sublime talento fué igualmente capaz de los mayores esfuerzos, y del mas asiduo trabajo: que multiplicó sus produciones mas de lo que se pudiera esperar de las fuerzas humanas, sin dexar de ser ori-

ginal en todas; que siempre estuvo ocupado, y siempre tuvo el alma serena: finalmente que por un destino, por desgracia poco comun, reunio y mereció reunir una felicidad casi sin alteracion, á una gloria que nunca fué disputada.

Su muerte fué mirada como una pérdida pública, aun en el pais donde residia: la Academia de Petersbourg se vistió solemnemente de luto, y le decretó á su costa un busto de mármol, que habia de colocarse en las salas de sus juntas. Aquella misma Academia le habia hecho en vida una ofrenda mas singular. En un quadro alegórico, la Geometría se apoya sobre una lápida llena de cálculos, que son las fórmulas de su nueva teoría de la Luna, mandadas inscribir en ella por la Academia. De esta suerte, un pais que al principio de este siglo le mirábamos todavia como bárbaro, enseña á las naciones mas cultas de la Europa á honrar la vida de los hombres grandes y su memoria reciente, dándoles un exemplo que á muchas de ellas deberia acaso causarles rubor por no haberlo prevenido ni aun imitado.

TABLA

DE LAS MATERIAS DEL TOMO PRIMERO.



CARTAS

Á UNA PRINCESA DE ALEMANIA,

SOBRE VARIAS MATERIAS

DE FÍSICA Y DE FILOSOFÍA.

CARTA I.

Señora: como la esperanza de continuar instruyendo á V. A. en la Geometría se desvanece mas cada dia, lo que me causa un pesar inexplicable, desearia suplir por escrito, en quanto la naturaleza de las materias lo permitan. Voy á hacer la prueba, explicando á V. A. la idea que debemos formarnos de la cantidad, poniendo por exemplos las menores y mayores extensiones que conocemos actualmente en el mundo; pero ántes es necesario determinar una cierta medida proporcionada á nuestros sentidos, de la qual tengamos una idea distinta, como por exemplo, la de un pie. Por medio de esta longitud, ya determinada, podemos conocer todas las longitudes, sean mayores ó menores, señalando el número de pies que contienen

las primeras, y qué parte de un pie conviene á las segundas: porque en teniendo la idea de un pie, se tiene tambien la de su mitad, de su quarto, de su dozava parte, que se llama *pulgada*, de su centésima y milésima parte, que es tan pequeña que apénas se puede percibir. Pero es de advertir que hay animales de esta magnitud, los que sin embargo tienen miembros en que circula la sangre, y contienen en sí otros animalillos tan pequeños respecto de ellos, como estos respecto de nosotros: de donde se puede deducir que en el mundo exîsten unos seres vivientes, cuya pequeñez asombra la imaginacion, los quales están subdivididos en otras partes infinitamente mas pequeñas. Así, aunque la diezmilésima parte de un pie sea insensible respecto de nosotros, es no obstante mayor que la extension total de uno de estos animalillos, de modo que si tuviese conocimiento le pareceria muy grande. Pasemos ahora de estas pequeñas cantidades en que se abisma el entendimiento á otras mayores. V. A. conoce la longitud de una milla, y sabe que se cuentan 18 de aquí á Magdebourg: una milla consta de 28000 pies (*a*), cuya medida se usa ordinariamente para medir la distancia de las diversas regiones del globo, con el fin de no multiplicar demasiado los números en este cómputo, como sucederia valiéndose del pie.

(*a*) Una milla de Alemania consta de unos 28000 pies castellanos.

Quando se sabe que una milla tiene 28000 pies, y se dice que Magdebourg dista de Berlin 18 millas, la idea es mucho mas clara que si dixéramos que la distancia era de 484000 pies: este número tan grande confundiria nuestras ideas. Tambien tendrémos una idea clara de la magnitud de la tierra en sabiendo que su contorno es de 5966 leguas; y siendo el diámetro una línea recta que pasando por el centro va á terminarse en la superficie de la esfera, que es la figura que tiene la tierra, á la que por esta razon se da tambien el nombre de globo, el diámetro será de 1900 leguas, cuya medida se usa para las distancias mayores que se descubren en los cielos. La luna es el cuerpo celeste mas cercano, pues solo dista de nosotros unos 30 diámetros de la tierra, lo que hace 57000 leguas, ó 1368.000000 pies; pero se ve que la primera evaluacion de 30 diámetros de la tierra es la mas clara. El sol está cerca de 300 veces mas distante que la luna; por lo que en diciendo que su distancia es de 9000 diámetros de la tierra, se tiene una idea mucho mas clara que si quisiésemos expresarla por leguas ó pies. V. A. sabe que la tierra hace una revolucion al rededor del sol en el espacio de un año, permaneciendo aquel inmóvil. Ademas de la tierra, hay otros cinco cuerpos semejantes llamados planetas, que giran al rededor del sol, unos á menores distancias, como Mercurio y

Venus, y otros á mayores, como Marte, Júpiter y Saturno (*a*). Todas las demas estrellas que vemos, excepto los cometas, se llaman fixas, distando de nosotros incomparablemente mas que el sol. Estas distancias son sin duda muy desiguales, lo que es causa de que unas parezcan mayores que otras; pero la que ménos está 5000 veces mas distante que el sol; por lo que su distancia será mas de 45.000000 veces el diámetro de la tierra, ó 85500.000000 leguas, cuyo número multiplicado por 24000 dará esta prodigiosa distancia expresada en pies. Sin embargo, esta es la distancia de las estrellas fixas mas cercanas; y quizá las mas distantes que vemos, lo están cien veces mas que ellas. Ademas es menester figurarse que todas estas estrellas, tomadas juntas, solo constituyen una pequeña parte del universo, respecto del qual no son todas estas distancias prodigiosas mas que un grano de arena relativamente á la tierra. Esta inmensidad es obra de la Omnipotencia, que rige los cuerpos mayores como los mas pequeños. = En Berlin á 19 de Abril de 1760.

(*a*) Ademas de estos planetas descubrió otro el celebre *Herschel* en 1781, al qual unos le dan el nombre del descubridor, y otros el de *urano*, el que parece lo van adoptando generalmente los Astrónomos. Este planeta está todavía mas distante que Saturno.

CARTA 2.

Como creo que V. A. me permitirá continuar en la instruccion de que me he atrevido á presentarle una prueba en mi primera carta, pasaré á explicar la idea de la velocidad, que es una especie de cantidad particular, capaz de aumento y diminucion. Quando se transporta una cosa, y pasa de un lugar á otro, decimos que tiene *velocidad*. Si un correo á caballo, y un mensagero á pie van de Berlin á Magdebourg, se concibe en ámbos cierta velocidad; pero se dice que la del primero es mayor que la del segundo. Exâminémos pues en qué está la diferencia que hacemos de estas dos velocidades. El camino es el mismo para el correo y el mensagero: la diferencia solo está en el tiempo que gastan. La velocidad del correo es mayor, porque gasta ménos tiempo en ir de Berlin á Magdebourg, y la del mensagero es menor porque gasta mas. Por consiguiente es claro que para formar idea distinta de la velocidad, es necesario atender á dos especies de cantidad á un mismo tiempo, esto es, al camino andado, y al tiempo que ha pasado. Luego un cuerpo que corre un espacio do-

ble del que otro ha corrido en el mismo tiempo, tiene una velocidad doble: si en el mismo tiempo corre un camino tres veces mayor, su velocidad es tambien tres veces mayor, y así en adelante. Para conocer la velocidad con que ando quando voy á *Lytzow*, he observado que hago 120 pasos en un minuto: cada uno de mis pasos vale dos pies y medio: por lo que mi velocidad es tal que hago un camino de 300 pies en un minuto, y un camino 60 veces mayor ó de 18000 pies en una hora, lo que aun no llega á una milla de Alemania, la que constando de 28000 pies, necesitaria una hora y media, y algunos minutos para andarla. Luego si quisiese yo ir de aquí á Magdebourg gastaria 28 horas cabales. Habiendo concebido una idea distinta de la velocidad con que puedo andar, será fácil comprehender ahora lo que es una velocidad mayor ó menor; porque si un mensagero fuese de aquí á Magdebourg en 14 horas, su velocidad seria doble de la mia; y si fuese en 7, quádrupla.

Se observa grandísima diferencia en las velocidades. La tortuga nos da exemplo de una velocidad pequeñísima: si no camina mas que un pie por minuto, su velocidad es 300 veces menor que la mia, porque yo ando 300 pies en el mismo tiempo. Tambien conocemos velocidades mucho mayores. La del viento es muy varia: un viento mediano anda 10 pies en un segundo, ó 600 pies en un minuto, y por

tanto tiene una velocidad doble de la mia. El viento que corre 24 pies en un segundo, ó 1400 pies en un minuto, es ya bastante fuerte; y un viento que corre 60 pies en un segundo, es sumamente fuerte; sin embargo de que su velocidad es solo 12 veces mayor que la mia, y que necesita 2 horas y 20 minutos para correr de aquí á Magdebourg.

Síguese la velocidad del sonido, que corre 1260 pies en un segundo, y 75600 pies en un minuto. Esta velocidad es ya 252 veces mayor que la mia; y si se tirase un cañonazo en Magdebourg, de suerte que el ruido pudiese pasar hasta Berlin, tardaria en llegar algo mas de 6 minutos. Una bala se mueve con la misma velocidad con corta diferencia; pero quando la carga es la mayor que se emplea, puede correr hasta 2400 pies en un segundo, ó 144000 en un minuto. Esta velocidad nos parece prodigiosa, aunque solo es 480 veces mayor que la mia quando voy á Lytzow, y en efecto es la mayor que observamos en la tierra. Pero en los cielos hay velocidades mucho mayores, aunque nos parezcan tan lentos los movimientos. V. A. sabe que la tierra da una vuelta sobre su exe en 24 horas: por consiguiente cada punto de su superficie en el equador corre 5966 leguas en 24 horas, siendo así que yo solo puedo andar unas 18 leguas. Luego la velocidad de este punto es unas 330 veces mayor que la mia; pero aun es menor que la mayor velo-

cidad de una bala. La tierra hace una revolucion al rededor del sol en el espacio de un año, y corre 14760 leguas en 24 horas: luego su velocidad es 18 veces mas rápida que la de una bala. La velocidad mayor que conocemos es sin duda la de la luz, pues corre 2.333300 leguas en cada minuto, y es 400000 veces mayor que la de una bala. (a) = A 28 de Abril de 1760.

CARTA 3.

La explicacion de los diferentes grados de velocidad que he tenido el honor de ofrecer á V. A, me conducen al exâmen del sonido, ó de un ruido qualquiera en general. Conviene observar que ántes que llegue á nuestro oido, siempre se pasa algun tiempo, el qual es tanto mayor, quanto mas dista de nosotros el lugar en que el sonido fué producido, de modo que para comunicarse á la distancia de 1260 pies, necesita un segundo.

Quando se dispara un cañon, no oyen el ruido los que están distantes, hasta algun tiempo despues de haber visto el fogonazo: los que están á una legua, ó 24000 pies de dis-

(a) Usamos de leguas de España de 8000 varas castellanos ó de 24000 pies.

tancia, lo oyen 19 segundos despues. V. A. habrá sin duda reparado muchas veces, que el ruido del trueno llega á nuestro oido algun tiempo despues del relámpago; y por aquí se puede juzgar á qué distancia está de nosotros el sitio en que se formó el trueno. Si observamos, por exemplo, que entre el relámpago y el trueno hay un intervalo de 19 segundos, concluirémos que el sitio del trueno dista de nosotros una legua ó 24000 pies, contando 1260 pies de distancia por cada segundo mas ó ménos. Esta propiedad nos conduce á exâminar en qué consiste el sonido, y si su naturaleza es semejante á la del olor, quiero decir, si el sonido parte del cuerpo que suena, como el olor sale de la flor, llenando el ayre de exhalaciones sutiles, aptas para excitar el sentido de nuestro olfato. Los antiguos pudiéron tener esta idea; pero nosotros estamos enteramente convencidos de que quando se toca una campana, nada sale de ella, que se transmita á nuestro oido; y de que un cuerpo que produce el sonido no pierde nada de su substancia.

Si observamos una campana que se acaba de tocar, ó una cuerda que se ha pulsado, echarémos de ver que estos cuerpos están entónces en un temblor, en un estremecimiento que agita todas sus partes; y que todo cuerpo capaz de este estremecimiento produce tambien el sonido. Pueden verse estos estremecimientos ó vibraciones en una cuerda, quando

no es muy delgada. La cuerda tensa ACB pasa alternativamente de la situacion AMB á la ANB. Tambien debe observarse que estas vibraciones hacen vibrar el ayre circunvecino del mismo modo, y se comunican sucesivamente á las partes mas distantes del ayre, hasta que estas vienen finalmente á chocar el órgano de nuestro oido. El ayre pues recibe estas, vibraciones y transmite el sonido á nuestros oidos; y es claro por consiguiente que la percepcion del sonido es el choque que reciben estos, causado por el estremecimiento del ayre que se comunica á nuestro órgano; y quando oimos el sonido de una cuerda pulsada, nuestros oidos reciben del ayre tantos choques como vibraciones hace la cuerda en el mismo tiempo, de modo que si hace 100 vibraciones en un segundo, el oido recibe tambien 100 golpes en el mismo tiempo, y la percepcion de estos es lo que se llama sonido.

Fig. 1.

Quando estos golpes se suceden uniformemente, ó son iguales sus intervalos, el sonido es regular, del modo que se requiere para la Música; pero si se suceden con desigualdad, ó son desiguales sus intervalos, resulta un ruido irregular, de que no se puede hacer uso en la Música. Considerando con un poco de atencion los sonidos musicales, cuyas vibraciones se hacen con igualdad, observo que quando las vibraciones, igualmente que los golpes que recibe el oido, son mas ó ménos fuertes, no resulta en el sonido mas diferencia que la de ser

mas ó ménos fuerte; lo qual produce la diferencia que los Músicos llaman *fuerte y piano.*

La diferencia es mucho mas esencial, quando las vibraciones son mas ó ménos rápidas, ó que hay mayor ó menor número de ellas en un segundo. Si una cuerda hace 100 vibraciones en un segundo, y otra hace 200 en el mismo tiempo, sus sonidos son esencialmente diferentes: el primero es mas grave ó mas baxo, el segundo mas agudo ó mas alto. Esta es la verdadera diferencia que hay entre los sonidos graves y agudos, en la que estriba toda la Música, la que enseña á combinar sonidos que difieren entre sí respecto al grave y al agudo, de modo que resulte una harmonía agradable. En los sonidos graves hay ménos vibraciones, en un mismo tiempo, que en los sonidos agudos; y cada sonido del clave contiene un cierto y determinado número de vibraciones, que se acaban en un segundo. El sonido señalado con la letra C (*a*) da 100

(*a*) El sonido C es el que produce la cuerda mas gruesa de un violon; el sonido $\overline{\overline{\overline{c}}}$ es la quarta Octava del primero. Mr. Euler escribe la progresion de la Octava de esta suerte:

1 Octava. 2 Octava. 3 Octava. 4 Octava.
C ó ut, $\dot{c}$., $\overline{c}$ $\overline{\overline{c}}$ $\overline{\overline{\overline{c}}}$
y lo mismo para los demas sonidos de la Gama, D, E, F, G, A, H, ó re, mi, fa, sol, la, si.

Para escribir la escala cromática usa los signos siguientes,
C, Cs, D, Ds, E, F, Fs, G, Gs, A B, H, c.
ut, ut ♯, re, re ♯, mi, fa, fa ♯, sol, sol ♯, la, si ♭, si ♮ ut,

vibraciones en un segundo poco mas ó ménos; y el sonido señalado con la letra $\bar{\bar{c}}$ da 1600 vibraciones en el mismo tiempo. Una cuerda que vibra 100 veces en un segundo, dará precisamente el sonido C; pero si solo vibrase 50 veces, el sonido seria mas baxo ó grave. Respecto de nuestro oido hay ciertos límites, pasados los quales no se perciben los sonidos. Parece que no seria apreciable ni el sonido de una cuerda que hiciese ménos de 30 vibraciones por segundo, porque seria muy grave, ni el de una cuerda que hiciese mas de 7552 por segundo, porque seria muy agudo.

CARTA 4.

Volvamos á aquella observacion, que quando se oye un sonido musical, recibe nuestro oido una serie de golpecillos igualmente distantes entre sí, cuya freqüencia y número, en un cierto espacio de tiempo, produce la diferencia que hay entre los sonidos graves y agudos, de suerte que quanto menor es el número de vibraciones ó golpes producidos en un determinado tiempo, como un segundo, tanto mas grave es el sonido; y quanto mayor es dicho número, el sonido es tanto mas agu-

do. De aquí es que podemos comparar la sensacion de un sonido musical simple á una serie de puntos igualmente distantes entre sí, como . . . .
El sonido será mas grave ó mas agudo, segun que los intervalos entre estos puntos sean mayores ó menores. No hay duda en que la sensacion de un sonido simple es semejante ó análoga á la vista de esta serie de puntos distantes igualmente entre sí; y de esta suerte se puede representar á los ojos lo que los oidos sienten quando oyen un sonido. Si no fuesen iguales las distancias entre los puntos, sino que estuviesen dispuestos confusamente, representarian el ruido confuso contrario de la melodía.

Sentado esto, considerémos el efecto que deben producir, en nuestro oido, dos sonidos producidos á un mismo tiempo. Se ve desde luego que si los dos sonidos son iguales, esto es, que cada uno comprehende el mismo número de vibraciones en un mismo tiempo, la sensacion del oido será como si no hubiese mas que un solo sonido, y en este caso se dice en la Musica que estos dos sonidos son *unísonos*, lo que forma la *postura* mas sencilla. Llámase *postura* la mezcla de dos ó mas sonidos que se oyen á un tiempo. Pero si los dos sonidos difieren respecto de lo grave y agudo, se percibirá una mezcla de dos series de golpes, en cada una de las quales serán iguales entre sí los intervalos, pero mayores en una que en otra, correspondiendo estos al sonido mas agu-

do, y aquellos al mas grave. Esta mezcla ó combinacion de dos sonidos puede representarse á los ojos por medio de dos series de puntos dispuestos en dos líneas a b y c d.

```
  1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11
a. . . . . . . . . . . . .b
c. . . . . . . . . . . . .d
 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12
```

Para formarse una idea clara de estas dos series, conviene reparar el órden que guardan, ó lo que es lo mismo, la razon que hay entre los intervalos de la primera y segunda línea. Si se numeran los puntos de cada línea, poniendo el número 1 baxo el número 1; los números 2 no corresponderán exâctamente uno á otro y ménos los números 3; pero el número 11 se encuentra encima exâctamente del número 12, de donde se infiere que el sonido mas alto hace 12 vibraciones, y el otro solamente 11.

Los ojos casi no descubririan este órden, si no se escribiesen los números; y lo mismo sucede al oido, el qual lo percibiria con dificultad en los dos sonidos que he representado con las dos líneas de puntos. No sucede así en esta figura

```
. . . . . . . . . . . .
.   .   .   .   .   .
```

en la qual se descubre á primera vista que la línea de arriba contiene dos veces mas puntos que la de abaxo, ó bien que los intervalos

de la línea inferior son dos veces mayores que los de la superior. Despues del *unísono*, este es sin duda el caso mas simple en que se puede descubrir con facilidad el órden que reyna en las dos series de puntos, y lo mismo digo de los sonidos que representan: el número de vibraciones que forma el uno, será doble del que forma el otro, y el oido percibirá la agradable relacion que hay entre los dos sonidos, siendo así que en el caso precedente era sumamente difícil, quando no imposible, el juzgar. Quando el oido descubre con facilidad la razon que guardan dos sonidos, esta postura se llama *consonancia*; y si la razon es difícil ó imposible de percibirse, la postura se llama *disonancia.* La consonancia mas simple es aquella en que el sonido agudo produce cabalmente dos veces mas vibraciones que el grave. A esta *consonancia* llaman *octava* en la Música. No hay nadie que no conozca la fuerza de ella; y dos sonidos que difieren entre sí una octava, están en tan perfecta harmonía, y son tan semejantes, que los Músicos los señalan con las mismas letras. Esta es la causa de que en las Iglesias cantan las mugeres una octava mas alto que los hombres, creyendo entonar los mismos sonidos. V. A. comprobará fácilmente esta verdad en su clave, notando con gusto el gran acorde que reyna entre los sonidos que difieren una octava, miéntras que otros dos qualesquiera, no consonan igualmente bien.

CARTA 5.

Hemos visto que la consonancia que los Músicos llaman octava, conmueve el oido de un modo tan notable, que se percibe fácilmente la menor *aberracion*. Por esto, en entonando el sonido señalado por F, es facil acordar el sonido f, que es una octava mas alto, solo al oido: si la cuerda que ha de dar este sonido está un ápice mas alta ó mas baxa, el oido lo siente, y no hay cosa mas fácil que acordarla perfectamente. Por eso vemos que en el canto, qualquiera pasa fácilmente de un sonido á otro una octava mas alto ó mas baxo; pero quando se ha de pasar, por exemplo, de un sonido F á otro d, un Músico mediano se engañará fácilmente sin el auxílio de un instrumento. Determinado ya el sonido F, es casi imposible acordar con él el sonido d de una vez. ¿Quál es pues la razon por qué es tan fácil acordar el sonido f con el F, y tan difícil el sonido d? Esto es evidente por lo que expliqué á V. A. en mis últimas observaciones; quiero decir, que los sonidos f y F forman una octava, y el número de vibraciones de f es cabalmente duplo de F. Para percibir esta consonancia no es necesario mas que percibir la relacion de uno á dos, la qual así como se

ve palpablemente representándola por puntos, como lo hicimos ántes, del mismo modo conmueve los oidos de una manera semejante. V. A. comprehende pues fácilmente que quanto mas simple es una razon, ó quanto menores son los números que la expresan, tanto mas distintamente se presenta al entendimiento, y excita una sensacion mas enérgica de gusto. Los Arquitectos observan tambien esta máxima con sumo cuidado, y usan en los edificios las proporciones mas simples que las circunstancias les permiten. Por lo regular hacen la altura de las puertas y ventanas dos veces mayores que su ancho, y procuran siempre usar de proporciones que puedan expresarse con números pequeños, porque esto agrada al entendimiento. Lo mismo sucede en la Música (*a*): las consonancias no gustan sino porque el entendimiento descubre la razon que reyna entre los sonidos, la que perciben con tanta mas facilidad, quanto menores son los números que la expresan. Despues de la razon de igualdad que indica dos sonidos en unísono, la mas simple es la razon de dos á uno, y esta suministra la consonancia de una octava, por lo que es evidente que esta consonancia debe tener grandes prerogativas entre todas las de-

(*a*) Para entender bien lo que sigue, conviene recordar que las voces relacion y razon son sinónimas, y que aquí se habla de la razon geométrica, que consiste en el número de veces que el primer termino está contenido en el segundo.

mas. Explicada la consonancia ó el intervalo entre dos sonidos, que los Músicos llaman *Octava*, considerémos muchos sonidos F, f, $\overline{f}$, $\overline{\overline{f}}$, $\overline{\overline{\overline{f}}}$, cada uno de los quales esté una octava mas alto del precedente; y siendo una octava cada uno de los intervalos de F á f, de f á $\overline{f}$, de $\overline{f}$ á $\overline{\overline{f}}$, de $\overline{\overline{f}}$ á $\overline{\overline{\overline{f}}}$, el intervalo de F á $\overline{f}$, será una octava doble, el de F á $\overline{\overline{f}}$ triple, y el de F á $\overline{\overline{\overline{f}}}$ quádrupla. De consiguiente miéntras que el sonido F hace una vibracion, el sonido f hace dos, el sonido $\overline{f}$ quatro, el sonido $\overline{\overline{f}}$ ocho, y el $\overline{\overline{\overline{f}}}$ diez y seis; por donde vemos que una octava corresponde á la razon de 1 á 2, una octava doble á la de 1 á 4, una triple á la de 1 á 8, una quádrupla á la de 1 á 16; y como la razon de 1 á 4 no es tan simple como la de 1 á 2, pues no es tan fácil de percibir, del mismo modo una octava doble no se percibe con tanta facilidad como una simple; una triple es ménos fácil de percibir, y una quádrupla ménos todavia. Por eso quando se templa un clave, y se ha determinado ya el sonido F, no es tan fácil acordar con él la octava doble $\overline{f}$ como la simple f, y todavia es mas difícil acordar la triple $\overline{\overline{f}}$ y la quadrupla $\overline{\overline{\overline{f}}}$ sin pasar por las octavas intermedias. Como la conso-

nancia mas simple es la del unísono, podemos colocarlas del modo siguiente.

I. grado : el unísono, indicado por la razon de 1 á 1.

II. grado : la octava continua, en la razon de 1 á 2.

III. grado : la octava doble, en la razon de 1 á 4.

IV. grado : la octava triple, en la razon de 1 á 8.

V. grado : la octava quádrupla, en la razon de 1 á 16.

VI. grado : la octava quíntupla, en la razon de 1 á 32.

Y así de los demas miéntras que puedan percibirse los sonidos. Tales son las consonancias cuyo conocimiento hemos adquirido hasta ahora: aun no sabemos nada de las demas especies de consonancias, y ménos de las disonancias que se usan en la Música. Antes de pasar á explicarlas, haré una observacion acerca de la denominacion de octava, que se da al intervalo de dos sonidos, uno de los quales hace doble número de vibraciones que el otro. V. A. ve la razon en las teclas principales del clave, que pasan por siete grados ántes de llegar á la octava, como C, D, E, F, G, A, H, c, de suerte que la tecla c es la octava empezando á contar desde C. Esta division depende de cierta sucesion de intervalos musicales, cuya razon expondré en las cartas siguientes. = A 3 de Mayo de 1760.

CARTA 6.

Puede decirse que todas las razones que hemos considerado hasta ahora, que son de 1 á 2, de 1 á 4, de 1 á 8, de 1 á 16, que contienen la progresion de las octavas, se forman de solo el número 2, porque 4 es 2 veces 2; 8, dos veces 4; y 16, dos veces 8. Por lo que si solo se admite en la Música el número 2, no se adquiere mas que el conocimiento de las consonancias que los Músicos llaman octava simple, doble, triple &c.; y como el número 2 no suministra duplicándolo sino los número 4, 8, 16, 32, 64 &c. cada uno de los quales es doble del precedente, nos quedan desconocidos todos los demas números. Por tanto si un instrumento contenia solo octavas, como son los sonidos indicados por C, c, $\bar{c}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$, con exclusion de los demas, la Música que produciria no seria agradable por razon de su mucha sencillez. Introduzcamos pues ademas del 2 el número 3, y veamos las consonancias que resultan. La razon de 1 á 3 nos ofrece dos sonidos, uno de los quales hace tres veces mas vibraciones que el otro en el mismo tiempo. Esta razon es sin duda

la mas fácil de concebir, despues de la de 1 á 2; por lo que suministrará muy bellas consonancias, aunque de una naturaleza enteramente diferente de las octavas. Supongamos pues que en la razon de 1 á 3, el número 1 corresponde al sonido C, y como el sonido c está expresado por el número 2, el número 3 nos da un sonido mas alto que c, pero mas baxo que $\bar{c}$, que corresponde al número 4. El sonido expresado por 3 es el que los Músicos indican con la letra g, y al intervalo de c á g llaman una *quinta*, porque en las teclas del clave g es la quinta contando desde c, como c, d, e, f, g. Por consiguiente si el número 1 da el sonido C, el número 2 da c, el número 3 da $\underline{g}$, y el número 4 da $\bar{c}$; y como el sonido $\bar{g}$ es la octava de g, el número que la exprese será 2 veces 3, ó 6; y si sube todavia una octava, el sonido $\bar{\bar{g}}$ estará expresado por un número dos veces mayor, esto es, por 12. Por lo que vemos que todos los sonidos á que nos conducen los números 2 y 3, indicando el sonido C por 1, son

C, c, g, $\bar{c}$, $\bar{g}$, $\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{g}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$, &c.
1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, 16, &c.

Se ve pues claramente que la razon de 1 á 3 expresa un intervalo compuesto de una octava y una quinta, el que, por causa de la sencillez de los números que la representan, de-

be ser despues de la octava el mas agradable al oido. Los Músicos dan el segundo lugar á la quinta entre las consonancias; y el oido la percibe tan fácilmente, que no hay dificultad en acordar una quinta. Por eso en los violines las quatro cuerdas suben por quintas, siendo la mas baxa g, la segunda $\overline{d}$, la tercera $\overline{a}$, y la quarta $\overline{\overline{c}}$ (*a*), y qualquier Músico las acuerda fácilmente al oido. Sin embargo no es tan fácil acordar una quinta como una octava; pero la quinta mas arriba de la octava como de C á g, que está expresada por los números 1 á 3, es mas sensible que una simple quinta, como de C á G, ó de c á g, que está expresada por la razon de 2 á 3; y se sabe por experiencia que en fixando el sonido C, es mas fácil acordar con él la quinta superior g, que la simple G. Si la unidad hubiese indicado el sonido F, el número 3 indicaría el sonido $\overline{c}$, de suerte que F, f, $\overline{c}$, $\overline{f}$, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{f}}$, $\overline{\overline{\overline{c}}}$, estarian indicados por 1, 2, 3, 4, 6, 8, 12, donde el intervalo de f á $\overline{c}$ es una quinta contenida en la razon de 2 á 3: tambien hay una quinta de $\overline{f}$ á $\overline{\overline{c}}$, de $\overline{\overline{f}}$ á $\overline{\overline{\overline{c}}}$, porque la razon de 4 á 6, y de 8 á 12, es la misma que la de 2 á 3. Porque si dos cuerdas hacen en un mismo tiempo la primera 4 vibraciones, y la segun-

(*a*) Esto es *sol*, *re*, *la*, *mi*.

da 6, en un tiempo la mitad menor hará aquella 2, y esta 4: los sonidos que dan estas cuerdas son los mismos en ámbos casos; luego la razon de 4 á 6 expresa el mismo intervalo que el de 2 á 3, esto es una quinta. Del mismo modo conocerémos el intervalo contenido en la razon de 3 á 4, que es el de $\overline{c}$ á $\overline{f}$, y por consiguiente de c á f, ó de C á F: los Músicos le llaman quarta, y como está expresado por números mayores, no es tan agradable ni con mucho como la quinta, y ménos aun que la octava.

Como el número 3 nos ha suministrado nuevas consonancias como la quinta y la quarta, tomémoslo ahora tres veces, y tendrémos el núm. 9, que dará un sonido, una octava y una quinta mas alto que el sonido 3 ó $\overline{c}$; pero $\overline{\overline{c}}$ es la octava de $\overline{c}$, y $\overline{\overline{g}}$ la quinta de $\overline{\overline{c}}$; luego el número 9 dará el sonido $\overline{\overline{g}}$, de suerte que podemos indicar $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{f}}$ $\overline{\overline{g}}$, $\overline{\overline{\overline{c}}}$ por 6, 8, 9, 12; y si se toman estos sonidos en las octavas inferiores, supuesto que la razon permanece la misma, tendrémos:

C, F, G; c, f, g; $\overline{c}$, $\overline{f}$, $\overline{g}$; $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{f}}$, $\overline{\overline{g}}$; $\overline{\overline{\overline{c}}}$
6, 8, 9; 12, 16, 18; 24, 32, 36; 48, 64, 72; 96,

lo qual nos guia á conocer otros nuevos intervalos.

El primero es el de F á G, contenido en la razon de 8 á 9, que los Músicos llaman una

segunda, ó *tono*: el segundo es de G á f contenido en la razon de 9 á 16, llamado *séptima*, el qual es una segunda, ó un tono menor que una octava. Como estas razones están expresadas con números muy grandes, los intervalos no se cuentan ya entre el número de las consonancias, y los Músicos los llaman *disonancias*.

Si tomamos tres veces el número 9 para tener 27, indicará un tono mas alto que $\bar{c}$, que será una quinta mas alto que g; por consiguiente será el tono $\bar{d}$, y su octava $\bar{\bar{d}}$ corresponderá al número 2 veces 27, ó 54, y la octava doble al número 2 veces 54, ó 108. Representémos estos tonos algunas octavas mas baxos del modo siguiente.

C, D, F, G; c, d, f, g; $\bar{c}$, $\bar{d}$, $\bar{f}$, $\bar{g}$;
24, 27, 32, 36; 48, 54, 64, 72; 96, 108, 128, 144;

$\bar{\bar{c}}$, $\bar{\bar{d}}$, $\bar{\bar{f}}$, $\bar{\bar{g}}$, $\bar{\bar{\bar{c}}}$
192, 216, 256, 288, 384.

Por donde vemos que el intervalo de D á F está contenido en la razon de 27 á 32, y el de F á d en la de 32 á 54, cuyos dos términos son divisibles por 2, por lo que en lugar de esta razon tenemos la de 16 á 27. El primero de estos intervalos se llama tercera menor, y el segundo sexta mayor. Podriamos triplicar el número 27; pero la Música no va tan léjos, y se limita al número 27,

que resulta de 3 multiplicado tres veces por sí mismo. Los demas tonos musicales que aun nos faltan, los introduce el número 5; y de ellos trataré en la carta siguiente. = A 3 de Mayo de 1760.

CARTA 7.

La materia de que hablo es tan árida, que temo llegue á fastidiar á V. A.: para no gastar mas tiempo, y no tener que volver á ella, remito hoy tres cartas. Mi intencion era de manifestar á V. A. el verdadero orígen de los sonidos que se emplean en la Música, casi absolutamente ignorado de los Músicos. No es la teoría á quien deben el conocimiento de todos estos sonidos, sino al poder secreto de la verdadera harmonía, que ha obrado con tanta eficacia en sus oidos, que, por decirlo así, se han visto precisados á recibir los tonos que están en uso actualmente, sin embargo de que no estén decididos acerca de su justa determinacion. Los principios de la harmonía se reducen por fin á números; y hemos visto que el número 2 solo da octavas, de suerte que habiendo fixado, por exemplo, el tono F, hemos hallado los tonos f, $\overline{f}$, $\overline{\overline{f}}$, $\overline{\overline{\overline{f}}}$. Despues el

número 3 da los tonos C, c, $\overline{c}$, $\overline{\overline{c}}$, $\overline{\overline{\overline{c}}}$, que difieren de los otros en una quinta: la repeticion del mismo número 3, da tambien las quintas de las primeras, que son G, g, $\overline{g}$, $\overline{\overline{g}}$, $\overline{\overline{\overline{g}}}$; finalmente la tercera repeticion de este número 3, añade los tonos D, d, $\overline{d}$, $\overline{\overline{d}}$. Como los principios de la harmonía exîgen la sencillez, parece que no permiten repetir mas veces el número 3, por lo que hasta ahora solo tenemos los tonos siguientes para cada octava:

F G, c, d, f.
16. 18. 24. 27. 32.

los quales no suministrarian una Música muy variada. Introduzcamos pues el número 5, y veamos qual será el tono que hará 5 vibraciones, mientras que el tono F no hace mas que una. Sabemos que el tono f hace 2 vibraciones en el mismo tiempo, el tono $\overline{f}$, 4, y el tono $\overline{\overline{c}}$, 6: luego el tono que se busca está entre $\overline{f}$ y $\overline{\overline{c}}$. Los Músicos lo indican con la letra $\overline{a}$; y llaman *tercera mayor* á la consonancia con el tono $\overline{f}$, la qual es muy agradable, supuesto que está expresada por la razon de 4 á 5, que es bastante simple. Ademas de esto, el tono $\overline{a}$ forma con el tono $\overline{\overline{c}}$ una

consonancia contenida en la razon de 5 á 6, que es casi tan agradable como la otra, y se llama *tercera menor*, la qual está representada por la razon de 27 á 32, que difiere de la primera tan poco que no lo percibe el oido. Del mismo modo aplicando el número 5 á los demas tonos G, c, d, nos darán sus terceras mayores, tomadas en la segunda octava inferior, esto es los sonidos $\overline{h}$, $\overline{\overline{e}}$ y $\overline{\overline{\overline{fs}}}$, que trasladados á la primera octava, darán los tonos siguientes con sus números.

F. Fs, G, A, H, c, d, e, f.
128. 135. 144. 160. 180. 192. 216. 240. 256.

Si quitamos los tonos Fs, tendrémos las teclas principales del clave, que segun los antiguos constituyen la escala llamada *diatónica*, la qual resulta del número 2, del número 3 repetido tres veces, y del número 5. Con solos estos tonos se pueden componer melodías muy agradables y variadas, cuya belleza está fundada únicamente en la sencillez de los números que han suministrado los tonos (a). Finalmente tomando la segunda vez el número 5, nos dará las terceras de los quatro nuevos tonos A, E, H, Fs, que acabamos de hallar, y tendrémos los sonidos Cs, Gs, Ds, y B; de suerte que la octava consta ahora de 12 tonos, los quales están recibidos en la Música. Todos ellos se derivan de

(a) Se llama *melodía* á la sucesion de los tonos; y *barmonía* á la combinacion de dos ó mas de ellos.

los tres números 2, 3 y 5 multiplicando el número 2 por sí mismo tantas veces como requieren las octavas; pero sin hacer esta operacion mas que tres veces con el número 3, y solo dos veces con el número 5. En la tabla siguiente se contienen todos los tonos de la octava primera, y en ella se ve como los números fundamentales 2, 3 y 5 entran en la composicion de los que expresan las razones de estos sonidos.

			Dif.
ut ó C	2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 3.....	384.	
ut d. Cs.	2. 2. 2. 2. 5. 5..............	400.	16.
re D	2. 2. 2. 2. 3. 3. 3.........	432.	32.
re d. Ds	2. 3. 3. 5. 5..................	450.	18.
mi E	2. 2. 2. 2. 2. 3. 5.........	480.	30.
fa F	2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2.	512.	32.
fa d. Fs	2. 2. 3. 3. 3. 5..............	540.	28.
sol G	2. 2. 2. 2. 2. 2. 3. 3.....	576.	36.
sol d. Gs	2. 2. 2. 3. 5. 5..............	600.	24.
la A	2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 5.....	640.	40.
si b. B	3. 3. 3. 5. 5....................	675.	35.
si n. H	2. 2. 2. 2. 3. 3. 5.........	720.	45.
ut c	2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 2. 3.	768.	48.

Miéntras que el sonido C hace 384 vibraciones, el tono Cs hace 400, y los demas las que indican los números que les corresponden. Por consiguiente el sonido c hará en el mismo tiempo un número de vibraciones doble de 384, esto es, 768. Para hallar las octavas siguientes, no hay mas que multiplicar

estos números por 2, por 4, ó por 8. El sonido $\bar{c}$ hará 2 veces 768 ó 1536 vibraciones, el sonido $\bar{\bar{c}}$, 2 veces 1536, ó 3072 vibraciones, y el sonido $\bar{\bar{\bar{c}}}$ 2 veces 3072 ó 6144. Para entender la formacion de los sonidos por medio de estos tres números 2, 3 y 5 es menester observar que los puntos que se han puesto entre ellos significan que están multiplicados entre sí: por exemplo, la expresion 2. 2. 3. 3. 3. 5 correspondiente al tono Fs significa 2 veces 2 veces 3 veces 3 veces 3 veces 5. Ahora 2 veces 2 son 4; 4 veces 3 son 12; 12 veces 3 son 36; 36 veces 3 son 108; y 108 veces 5 son 540. Se ve tambien que las diferencias entre estos tonos no son iguales entre sí, sino que las unas son mayores y las otras menores, como lo requiere la verdadera harmonía. Sin embargo, como la desigualdad no es considerable, se miran por lo comun como iguales estas diferencias, llamando el intervalo de un sonido al otro *semitono*, y de este modo queda la octava dividida en 12 semitonos. Muchos Músicos del dia los hacen iguales, aunque esto sea contrario á los principios de la harmonía, porque ninguna quinta ni ninguna tercera es cabal, y el efecto es el mismo que si estos tonos no estuviesen bien acordados. Pero tambien convienen en que es preciso renunciar á la exâctitud de las consonancias en favor de la igualdad de los semi-

tonos, de manera que la transposicion de un tono qualquiera á otro, no mude nada en las melodías. No obstante, confiesan que una misma pieza tocada por el tono C, ó un semitono mas alto por el tono Cs, muda considerablemente de naturaleza; por lo que se ve claramente que no son iguales todos los semitonos, por mas que se esfuercen los Músicos en hacerlos iguales, porque la verdadera harmonía se opone á la execucion de un designio que les es contrario. Este es el verdadero orígen de los tonos que actualmente están en uso, que vemos se derivan de los números 2, 3 y 5. Si se quisiera introducir todavía el número 7, el número de tonos de una octava se aumentaria, y la Música adquiriria un grado superior. Pero aquí las Matemáticas abandonan al Músico al juicio de su oido. = A 3 de Mayo de 1760.

CARTA 8.

Una qüestion igualmente importante que curiosa, es de saber como la Música excita en nosotros el deleyte. Los sabios no están de acuerdo en este punto. Algunos pretenden que sea un mero capricho, y que el deleyte que causa la Música no está fundado en ra-

zon ninguna, porque la misma Música que agrada á unos desagrada á otros. Pero en lugar de decidir esto la qüestion, la complica mas; porque se preguntará la causa por qué una misma composicion de Música produce efectos tan diferentes, supuesto que nada sucede sin motivo. Otros quieren que el deleyte de la Música consiste en la percepcion del órden que reyna en ella. Esta opinion parece á primera vista bastante bien fundada, por lo que merece exâminarla con cuidado. La Música encierra dos especies de objetos, en que debe reynar el órden: la una se refiere á la diferencia de los tonos agudos y graves; y V. A. se acordará de que consiste en el número de vibraciones que hace cada sonido en un mismo tiempo. Esta diferencia que se encuentra entre la velocidad de las vibraciones de todos los sonidos, es lo que propiamente se llama harmonía. El efecto de una música, en que se perciben las razones de las vibraciones de todos los sonidos que la componen, es la harmonía. Por exemplo, dos tonos que difieren en una octava, excitan la percepcion de la razon de 1 á 2; una quinta la de 2 á 3; y una tercera mayor la de 4 á 5. Se comprehende pues el órden que se encuentra en la harmonía quando se conocen todas las razones que reynan entre los tonos de que está compuesta: el sentido del oido nos lleva á este conocimiento. Este sentido, ya mas ya ménos delicado, decide por que una mis-

ma harmonía la percibe bien el uno, y no el otro, sobre todo quando las razones de los tonos están expresadas por números un poco grandes.

Ademas de la harmonía, encierra la Música otro objeto igualmente capaz de órden, como es el compas, que señala á cada sonido una determinada duracion: la percepcion del compas consiste en el conocimiento de esta duracion, y de las razones que de aquí nacen. Los tambores y timbales nos suministran un exemplo de la Música en que solo entra el compas, pues todos los tonos son iguales entre sí, en cuyo caso no hay harmonía. Tambien hay Música en que solo hay harmonía, sin entrar en ella el compas: tal es la Música coral, en que todos los tonos son de igual duracion. Sin embargo, una Música perfecta contiene tanto la harmonía como el compas. Por lo que el que oye la Música, y comprehende por el órgano del oido todas las proporciones en que están fundadas la harmonía y el compas, tiene ciertamente el mas perfecto conocimienro posible de ella, miéntras que otro que no perciba estas proporciones sino en parte ó nada, no comprehende cosa ninguna, ó solo tiene un conocimiento imperfecto. No obstante no debe confundirse la sensacion del deleyte que se experimenta con el conocimiento de que acabo de hablar, aunque se puede sostener muy bien que la Música no lo producirá, á ménos que no se

perciban las razones. Este conocimiento por sí solo, no basta para excitar el deleyte, sino que es menester algo mas, que nadie ha manifestado hasta ahora. Para convencerse de que la percepcion de todas las proporciones de la Música, no es suficiente por sí sola, no es menester mas que considerar una Música muy simple, en que solo haya octavas en que la percepcion de las proporciones es la mas facil: en este caso la Música no causa deleyte, aunque se tiene de ella el conocimiento mas perfecto. A esto responden que el deleyte requiere un conocimiento que no sea tan facil, y que pida algun trabajo; y que, por decirlo así, es menester que nos cueste algo. Pero á mí parecer esto no basta. Una disonancia, cuyas razones están expresadas por números mayores, es mas difícil de percibir, y sin embargo la sucesion de disonancias puestas sin eleccion y sin designio no agradaria. Es menester pues que el compositor haya seguido un cierto plan, executando con proporciones reales y perceptibles. Entónces si uno que lo entiende, oye esta composicion, y ademas de las proporciones, comprehende el plan y designio que el autor se habia propuesto, experimentará aquella satisfacion que constituye el deleyte que da una buena Música á los oidos acostumbrados á percibir las bellezas y finuras de este arte divino. Proviene pues el deleyte de que, en cierto modo, se adivinan el objeto

y los afectos del compositor, cuya execucion, si la juzgamos cumplida, llena el alma de una sensacion agradable, que puede compararse á aquella satisfaccion que se experimenta quando se ve una bella pantomima, en que, por medio de los gestos y acciones, se pueden adivinar los afectos y discursos que se quieren expresar, ofreciendo ademas un plan bien ordenado. El enigma del que limpia las chimenéas (*a*) que tanto agradó á V. A. me suministra una buena comparacion. Luego que se adivina la significacion, y se reconoce que está perfectamente expresada en la proposicion del enigma, se siente un deleyte vivo de haberlo descubierto; siendo así que los enigmas insulsos y mal propuestos no causan ninguno. Tales son, á lo que creo, los verdaderos principios en que están fundados los juicios que se hacen de la belleza de las composiciones de Música (*b*). = A 6 de Mayo de 1760.

(*a*) Enigma célebre de La Mothe, que está impreso entre sus obras.

(*b*) El placer que se siente en la Música se puede dividir en dos especies: uno es el que sienten los que están versados en el arte, y otro el que encuentran las personas sensibles á la harmonia, y al que llamare con Franklin *placer natural*. El primero consiste en el conocimiento de la dificultad de la composicion y de la execucion, lo qual admira á los profesores, y de aquí proviene que los que no lo son, se quedan frios al oir una música que entusiasma á los primeros. El segundo consiste acaso en el modo sucesivo o simultaneo con que los sonidos hieren nuestros oidos, excitando sucesi-

CARTA IX.

La explicacion del sonido que he tenido el honor de ofrecer á V. A. me conduce á considerar mas particularmente el ayre, el qual siendo capaz de movimiento de vibracion, como el de las cuerdas, campanas y demas cuerpos sonoros, transmite este estremecimiento hasta nuestros oidos. Se pregunta ¿qué es el ayre? porque no se percibe desde luego que sea una sustancia material. Como no vemos cuerpos en el espacio que nos rodea, parece que no hay en él materia ninguna, pues nada sentimos, y podemos andar y mover nuestros miembros sin hallar el menor obstáculo; pero no hay mas que mover la mano velozmente, y encontrarémos resistencia, y aun notarémos que este movimiento rápido ha pro-

vamente en nuestra alma ciertos afectos; y la composicion que no tenga este objeto, estara en el caso de aquel dicho agudo, *sonata, ¿que quieres decirme?* No por eso creo que para excitar los afectos agradables ó desagradables, sea inútil o perjudicial la harmonía, como algunos lo han pensado, antes me parece muy propia para ello, y esta fundada en la misma naturaleza: solo quisiera que los compositores se propusiesen por objeto el corazon humano, y no la admiracion de los inteligentes.

ducido viento. Efectivamente el viento no es mas que el ayre movido; y siendo capaz de producir tan singulares efectos, ¿quién dudará de que el ayre es material, y por consiguiente un cuerpo? Porque cuerpo y materia son sinónimos. Los cuerpos se dividen en dos clases, á saber, sólidos y fluidos; y es evidente que el ayre pertenece á la segunda: goza de muchas propiedades que son tambien comunes al agua, pero es mucho mas sutil. La experiencia ha probado que el ayre es cerca de 800 veces mas sutil y raro que el agua, de suerte que si llegase á ser 800 veces mas denso que lo que es, tendria la misma consistencia que ella. El ayre tiene una propiedad principal, que lo distingue de los demas fluidos, y es que se le puede comprimir ó reducir a un espacio menor, lo que se prueba con el siguiente experimento (*a*).

Fig. 2. Se toma un tubo ABCD de metal ó de vidrio, bien cerrado por la extremidad AB, y abierto por la otra, en la que se introduce un émbolo que se ajuste bien en la cavidad del tubo. Empújase el émbolo hácia dentro, y luego que haya llegado al medio E, el ayre que ocupaba al principio la cavidad ABCD, se reducirá á la mitad, y por consiguiente será dos veces mas denso. Si se

(*a*) Esta propiedad es comun á varios fluidos aeriformes que con el nombre de fluidos elásticos se conocen en el dia.

empuja el émbolo todavía mas, de modo que llegue hasta F, en medio de B y E, el ayre estará reducido á un espacio quatro veces menor; y si se continúa empujando el émbolo hasta G, de suerte que BG sea la mitad de BF, ó la octava parte de toda la longitud BD, el ayre que estaba al principio ocupando toda la cavidad del tubo, estará reducido á un espacio ocho veces menor. Si se continuase de este modo en estrecharlo hasta un espacio 800 veces menor, se tendria un ayre 800 veces mas denso que el ordinario, y lo sería tanto como el agua, lo que se puede probar con otros experimentos. De este modo se ve que el ayre es una materia fluida, capaz de compresion, ó lo que es lo mismo, de poder reducirse á ocupar un espacio menor, en lo que difiere totalmente del agua: porque si se llena de este último fluido el tubo ABCD, y se introduce el émbolo, no se le podrá hacer pasar adelante, y por mas fuerza que se emplease, no se conseguiria nada, sino romper el tubo ántes de reducir el agua á un espacio sensiblemente menor. Tenemos pues una diferencia esencial entre el ayre y el agua: esta no es capaz de compresion, y aquel puede comprimirse quanto se quiera.

Quanto mas se comprime el ayre, tanto mas denso se hace, de modo que el ayre que ocupaba cierto espacio, es dos veces mas denso quando está comprimido ó reducido á un

espacio dos veces menor: si está en un espacio 10 veces menor, entónces está 10 veces mas denso, y así en adelante. Ya he notado que si llegase á ser 800 veces mas denso, lo seria tanto como el agua, y tan pesado como ella, porque el peso crece en la misma razon que la densidad. El oro es el cuerpo mas pesado que conocemos, y al mismo tiempo el mas denso. Se ha probado que este metal es 19 veces mas pesado que el agua; y que una masa cúbica de oro, cuya longitud, latitud y altura fuesen cada una de un pie, pesaria 19 veces mas que una masa de agua semejante; y como esta masa de agua pesa 75 libras, se sigue que la masa de oro pesaria 19 veces 75, esto, es 1425 libras. Por consiguiente si se pudiera comprimir el ayre hasta reducirlo á un espacio 19 veces 800, esto es, 15200 veces menor, llegaria á ser tan denso y tan pesado como el oro. Sin embargo, no se puede comprimir el ayre, ni con mucho, hasta este punto. Al principio es fácil empujar el émbolo; pero quanto mas camina, tanto mas trabajo cuesta el hacerle caminar, y ántes de llegar á reducir el ayre á un espacio 10 veces menor, se necesita tanta fuerza para empujar el émbolo, que se romperia el tubo si no fuese sumamente fuerte.

No solamente se necesitaria tanta fuerza para empujar el émbolo, sino que seria menester la misma para mantenerlo, y en soltán-

dolo, el ayre comprimido le haria retroceder. Qnanto mas comprimido está el ayre, tanto mayor es el esfuerzo que hace para extenderse, y recobrar su estado natural. Esto es lo que se llama *resorte* ó *elasticidad* del ayre, de lo que pienso hablar á V. A. en el correo proxîmo. = A 10 de Mayo de 1760.

CARTA 10.

V. A. acaba de ver que el ayre es un fluido cerca de 800 veces mas sutil que el agua, de suerte que si esta, sin estar reducida á vapor, pudiese difundirse en un espacio 800 veces mayor, haciéndose por consiguiente 800 veces mas sutil, seria bastante semejante al ayre que respiramos. Pero este tiene una propiedad que no tiene el agua, como es el dexarse comprimir, reduciéndose á un espacio menor, en el que se encuentra mucho mas denso, como ya tuve el honor de probarlo á V. A. en mi última carta. Tambien descubrimos en el ayre la propiedad, no ménos singular, de poder extenderlo en un espacio mayor, y hacerlo así mas sutil. Esta operacion es lo que se llama la *rarefaccion* del ayre. Tomemos, como ántes, un tubo ABCD, en cuyo fondo haya un agu- Fig. 2.

jerillo O, para que introduciendo el émbolo hasta F, pueda salir el ayre por él, y no quede condensado. De este modo el ayre que ocupa al presente la cavidad ABFH, estará en su estado natural, y entónces se cerrará bien la abertura O. Si ahora se retira el émbolo, el ayre se extenderá sucesivamente en un espacio mayor, de suerte que quando haya llegado el émbolo á E, siendo BE doble de BF, el mismo ayre que contenia el espacio ABFH, llenará un espacio doble, y por lo mismo será la mitad ménos denso, ó mas raro. Si se saca el émbolo hasta D, siendo el espacio BD quatro veces mayor que BF, el ayre estará quatro veces mas raro que al principio, porque entónces está esparcido en un lugar quatro veces mayor; y si se llegase á retirar el émbolo hasta que el espacio fuese 1000 veces mayor, el ayre se difundiria siempre con igualdad en este espacio, y estaria 1000 veces mas raro. En esto difiere tambien esencialmente el ayre del agua; porque si estuviese llena de esta la capacidad ABFH, aunque se retirase el émbolo, el agua ocuparia siempre el mismo espacio que al principio, y lo restante quedaria vacío. Por donde vemos que el ayre está dotado de la fuerza intrínseca de dilatarse cada vez mas, la que exerce no solo quando está condensado, sino tambien quando está rarificado.

En qualquier estado de condensacion ó

rarefaccion que esté el ayre, hace siempre esfuerzos para ocupar mayor espacio, y se dilata siempre que no encuentra obstáculos. Esta propiedad es lo que se llama *resorte*, ó *elasticidad* del ayre, y los experimentos de que acabo de hablar, han enseñado que esta fuerza es proporcional á la densidad; quiero decir, que quanto mas denso está el ayre, tanto mayor es el esfuerzo que hace para extenderse, y es tanto menor quanto mas raro está. Quizá se me preguntará ¿por qué el ayre que se halla actualmente en mi aposento no se escapa por la puerta, una vez que está dotado de fuerza expansiva, que hace esfuerzos continuamente para ocupar mayor espacio? V. A. responderá sin duda, que así sucederia infaliblemente si el ayre exterior no hiciere iguales esfuerzos para dilatarse; y haciendo los mismos esfuerzos el ayre del aposento por salir, que hace el de fuera por entrar, se contrarestan mútuamente, quedando ámbos en reposo. Si el ayre exterior hubiera adquirido, por algun accidente, mayor densidad y elasticidad, entraria parte de él en el aposento, y el ayre de dentro se comprimiria, y adquiriria mayor elasticidad: esta corriente duraria hasta que la elasticidad del ayre del aposento se hiciese igual á la del ayre exterior. Si al contrario, el ayre interior se hiciese repentinamente mas denso, y su elasticidad mayor que la del ayre exterior, saldria del aposento, disminuiria de densidad,

igualmente que de elasticidad, hasta que esta fuese igual á la del ayre de fuera, en cuyo caso cesaria el movimiento, y estaria en equilibrio uno con otro. De aquí se infiere, que el ayre libre no está tranquilo sino quando tiene el mismo grado de elasticidad que el ayre que lo rodea: y en el punto que el ayre de un parage se hace mas ó ménos elástico que el de las cercanías, no puede subsistir el equilibrio; pero si la elasticidad es mayor, el ayre se extenderá é introducirá en los lugares donde sea menor, y de este movimiento del ayre resulta el viento (*a*). De esto dimana que la elasticidad del ayre es ya mayor, ya menor, en un mismo parage, cuya variacion la indica el *barómetro*, instrumento que merece explicarse con particularidad. Por ahora me ceñiré á las qualidades del ayre, como son su condensacion y rarefaccion; para lo qual conviene recordar que quanto mas se le ha condensado, adquiere tanta mayor elasticidad, ó fuerza para extenderse; y al contrario, quanto mas se le rarifica, tanto mas se debilita esta propiedad. Los Físicos han inventado una máquina para rarificar el ayre, y otra para condensarlo: la primera se llama

(*a*) La accion de la luna en la atmósfera, y el movimiento de rotacion de la tierra, producen tambien vientos regulares: las cordilleras mudan tambien la direccion de los vientos; por lo qual las causas conocidas de las corrientes del ayre, son de tres especies, regulares, accidentales y locales.

Máquina pneumática, la segunda *Máquina de compresion.* Ambas sirven para hacer muchos y muy curiosos experimentos, que V. A. conoce ya casi todos. No obstante hablaré de algunos, porque son necesarios para aclarar y explicar la naturaleza y propiedades del ayre, el qual como contribuye principalmente á la conservacion de los animales, y á la produccion de las plantas, merece que procuremos formarnos una idea distinta de él. = A 14 de Mayo de 1760.

CARTA II.

Ya tuve el honor de demostrar á V. A. que el ayre es un fluido, dotado de la propiedad particular de poderle comprimir en un espacio menor, y dilatarle en otro mayor, quando no encuentra obstáculos. A esta propiedad del ayre, conocida con los nombres de resorte y elasticidad, porque es muy semejante á la de un resorte que se dobla con esfuerzo, y recobra su figura en quitando los obstáculos, acompaña otra que le es comun con todos los cuerpos en general, y es la *gravedad*, en virtud de la qual todos los cuerpos tienen tendencia hácia el centro de la tierra, y les hace caer en no habiendo

nada que los sostenga. Los sabios están divididos é inciertos sobre la causa primitiva y mecánica de esta fuerza; no obstante, es indubitable que exíste, y todos están convencidos de ello por la experiencia diaria. Tambien conocemos su cantidad, y podemos medirla con suma exáctitud, porque el peso de un cuerpo no es mas que la fuerza que le obliga al descenso; y como podemos medir exáctamente el peso de cada cuerpo, se sigue que conocemos perfectamente el efecto de la gravedad, aunque nos sea absolutamente desconocida la causa, ó la fuerza invisible que obra sobre todos los cuerpos y les hace descender. De aquí se sigue, que un cuerpo es tanto mas pesado, quanta mas materia contiene. El oro y el plomo, son mas pesados que la madera, y que una pluma, porque contienen mas materia en un mismo volúmen, ó en una misma extension.

Siendo el ayre una materia sutil, y sumamente delgada, ó siendo su peso muy pequeño, no pueden casi percibir nuestros sentidos esta propiedad. Sin embargo, los experimentos nos convencen enteramente de esta verdad. V. A. ha visto que se puede rarificar el ayre en un vaso, ó en un tubo, y por medio de la máquina pneumática, se puede continuar esta rarefaccion, hasta sacar el ayre casi enteramente, dexando la cavidad del vaso sensiblemente vacía. Tambien se puede tomar un tubo ABCD, en el que

se introduce un émbolo, de modo que toque en el fondo, y no quede ayre ninguno entre las dos superficies : para lo qual es bueno que haya en el fondo un agujerillo O, por donde pueda salir el ayre al introducir el émbolo : entónces se cierra bien el agujerillo para estar seguros de que no hay ayre entre el fondo y el émbolo. Hecha esta preparacion, se retira poco á poco el émbolo, y no pudiendo penetrar el tubo el ayre exterior, habrá entre el fondo y el émbolo, un vacío perfecto que se puede hacer tan grande como se quiera, retirando el émbolo cada vez mas. Por este medio, se expelerá el ayre contenido en un vaso ; y si este se pone en una balanza exâcta, se halla que pesa ménos que quando estaba lleno de ayre, de donde se saca la conseqüencia importante, que el ayre contenido en un vaso aumenta su peso, y por lo mismo el ayre es pesado. Si la capacidad del vaso es suficiente para contener 800 libras de agua, se halla que el volúmen de ayre que lo llenaria, pesa una libra con corta diferencia, de donde se infiere que el ayre es cerca de 800 veces ménos pesado que el agua. Esto se entiende del ayre ordinario que nos rodea y respiramos, pues ya sabe V. A. que con los auxîlios del arte, se puede comprimir el ayre, y encerrarlo en menor espacio, y que aumenta de peso por este medio. Si el vaso de que acabo de hablar estuviese lleno de

Fig. 2.

un ayre dos veces mas comprimido que el ayre ordinario, pesaria dos libras mas que si estuviese vacío; y si estuviera lleno de ayre 800 veces mas comprimido que el ayre ordinario, pesaria 800 libras mas que si estuviera vacío, y tanto como si estuviera lleno de agua.

Por consiguiente, siendo el ayre pesado, aunque muy poco en el estado natural, debe tener tendencia hácia el centro de la tierra como los demas cuerpos, y por lo mismo pesará sobre todo lo que le impida obedecer á esta tendencia. Esta es la razon de que el ayre superior pese sobre el inferior, y este se halle comprimido con el peso de toda la masa de ayre que está encima. De esto nace que en nuestra region, el ayre tiene cierto grado de compresion ó densidad, lo qual es efecto del peso del ayre superior; de suerte que si este fuese mas ó ménos pesado, el ayre que nos rodea seria tambien mas ó ménos denso. De este modo el ayre inferior sostiene el peso del ayre superior, y quanto mas nos elevamos, tanto mas pierde de su densidad, y se rarifica, de suerte que si fuese posible ir siempre subiendo, el ayre llegaria á perderse enteramente, ó estaria tan sutil y raro que no se le percibiria. Al contrario, quando se baxa á un sótano muy profundo; la densidad del ayre se aumenta mas, por causa del aumento de la masa de ayre que pesa encima. = A 17 de Mayo de 1760.

CARTA 12.

Despues de haber probado que el ayre es un fluido elástico y pesado, observo que la tierra está rodeada de él por todas partes, y que el espacio que ocupa se llama atmósfera. Seria imposible que hubiese un vacío perfecto sobre qualquiera parte de la tierra, porque el ayre de las regiones circunvecinas, comprimido por el peso del ayre superior, hace esfuerzos continuos para dilatarse, y llenaria el espacio vacío. Por consiguiente, la atmósfera ocupa toda la region que rodea la tierra, y el ayre inferior está siempre comprimido por el peso del ayre superior, hasta un punto tal que el grado de elasticidad que resulta de esta compresion, pueda equilibrarse con la fuerza que lo comprime. En este estado, aunque el ayre está comprimido solo de arriba abaxo, hace esfuerzos en virtud de su elasticidad, para difundirse no solo hacia abaxo, sino tambien hácia los lados; por esta causa el ayre de un aposento está tan comprimido como el de afuera, lo que ha parecido una paradoxa á algunos filósofos. Porque, decian, en un quarto no esta comprimida la parte inferior

del ayre, sino por lo que está encima, en lugar que el ayre de fuera lo está por todo el peso de la atmósfera, cuya altura es inmensa. Esta duda se desvanece al instante, considerando la propiedad que tiene el ayre comprimido de procurar extenderse hácia todas partes. El ayre del aposento esta reducido por el ayre exterior, al mismo grado de compresion y elasticidad que él; por lo qual que estemos en un aposento ó fuera, siempre experimentamos la misma compresion del ayre, suponiendo que sea siempre á la misma altura, ó á la misma distancia del centro de la tierra; pues ya hemos observado que la compresion del ayre es menor, quando se sube á una torre ó á la cima de un monte, porque el peso del que está encima es entónces menor. Muchos son los fenómenos que confirman este estado de compresion del ayre.

Fig. 3. Si se toma un tubo AB cerrado por el extremo A, se le llena de agua ú otro fluido, y se le vuelve de abaxo arriba, de modo que el extremo abierto B quede dentro de un vaso lleno del mismo fluido, no se derrama nada. La elasticidad del ayre que obra en B contra el fluido contenido en el vaso, lo sostiene en el tubo; pero si se abre un agujero en A, el fluido baxa, y el ayre que entra por la abertura obra por arriba, comprimiendo el agua hacia abaxo: lo qual prueba que quando el tubo está cerrado por arriba, la fuerza del ayre exterior

sostiene en él el agua. Si se coloca este tubo en un vaso, del qual se ha extraido el ayre por medio de la máquina pneumática, el agua baxa al instante. Los antiguos, que no conocian esta propiedad del ayre, dixéron que la naturaleza sostenia el agua en el tubo, por el horror que tenia al vacío; porque si el fluido descendiese, habria un vacío en la parte superior del tubo, pues el ayre no encontraria por donde entrar. De modo que segun ellos, el horror del vacío impedia que el fluido descendiese. En el dia estamos ciertos que la fuerza del ayre es la que sostiene el peso del fluido en el tubo, y como esta fuerza es de una cantidad determinada, el efecto no podrá pasar de cierto término. La experiencia ha mostrado que quando el tubo AB tiene mas de 37 pies de largo, el agua no queda suspensa en él, sino que desciende, hasta que solo queda en el tubo á la altura de 37 pies, quedando encima un verdadero vacío. Por consiguiente, la fuerza del ayre no puede sostener el agua del vaso sino á la altura de 37 pies, y como la misma fuerza sostiene toda la atmósfera, se infiere que una columna de la atmósfera pesa tanto como otra de agua de la misma base, y de 37 pies de altura. Si en lugar de agua se toma azogue, que pesa 14 veces mas, la fuerza del ayre no puede sostenerlo en el tubo sino á la altura de 32 pulgadas, de modo que si es mayor, el azogue baxa, hasta que la

altura sea la correspondiente á la presion de la atmósfera, dexando un espacio vacío en la parte superior del tubo.

Un tubo como este, cerrado por la parte superior y abierto por la inferior, lleno de azogue, constituye el instrumento llamado *barómetro*, por medio del qual se ha reconocido que la atmósfera no pesa siempre igualmente; pues el azogue, subiendo y baxando, indica que la densidad del ayre ó la presion de la atmósfera, se aumenta y disminuye. = A 20 de Mayo de 1760.

ADICION

El barómetro es un instrumento de un uso tan general, no solo en las ciencias, sino tambien en la sociedad, que merece alguna mas explicacion.

El ayre es un fluido pesado como todos los cuerpos conocidos de la naturaleza; pero esta verdad, tan comun en el dia, no es muy antigua, á ménos que se quiera dar crédito á un lugar de Aristóteles en que indica algo del peso del ayre. Sin embargo, los Filósofos creian, que la naturaleza tenia *horror al vacío*, hasta el año de 1647, y aun todavia hay algunos que estudian Filosofía, y créen en este horror de la naturaleza al vacío. No me detendré á seguir los pasos de este descubrimiento, aunque es sumamente curioso observar lo mucho que ha costado el

llegar á conocer unas verdades, que en el dia nos son tan familiares.

Galileo observó que en las bombas aspirantes no subia el agua mas que hasta 37 pies; pero la conseqüencia que sacó, fué que la naturaleza no tenia horror al vacío sino hasta cierto punto. *Torricelli* habiendo tomado un tubo cerrado por un extremo, y llenádole de azogue, lo tapó con el dedo, lo volvió hácia abaxo, introduxo este extremo en un vaso lleno de azogue, y notó que el del tubo baxó y se detuvo á la altura de 32 pulgadas. En lugar de inferir que el horror del vacío era limitado, deduxo que el ayre era un cuerpo pesado, y que obrando su peso en el azogue del vaso, se equilibraba con la columna del azogue que estaba en el tubo. El célebre Pascal, luego que tuvo noticia de este experimento, lo repitió é hizo otros muchos, confirmando aquella idea de Torricelli, y sacando muchas y útiles conseqüencias, entre las quales es de notar la de que el ayre se comprime por su propio peso, y que debe estar ménos denso á mayor altura de la tierra (*a*). A esto se siguiéron otros muchos experimentos, y es muy reparable en la historia de las Ciencias, el influxo que este descubrimiento ha tenido en

(*a*) Traitez del' equilibre des liqueurs et de la pesanteur de la masse de l'air &c. Par Mr. Pascal. Paris 1664.

los progresos de la Física y de las ciencias Físico-matemáticas.

Averiguado el peso del ayre, se explicáron una infinidad de efectos naturales, cuya causa se atribuia al horror al vacío. El peso del ayre es la causa de que si un fuelle tiene cerrada su abertura, no se pueda abrir sin dificultad: de que dos cuerpos bien lisos, puesto uno contra otro, no se puedan separar sin grande esfuerzo: de que en las bombas aspirantes suba el agua hasta la altura de 37 pies, y de que no pase de allí; por lo que algunos, no sabiendo esto, hacen bombas de esta especie, de mas de 37 pies de alto, y se hallan sin el efecto que desean. En una palabra, el ayre nos rodea, y obra con su peso sobre nuestros cuerpos; es el agente de la respiracion, y seria largo enumerar los efectos del peso del ayre.

Este mismo peso es el que mantiene el azogue á cierta altura, en los tubos de los barómetros. En estos se ve una especie de escala en la parte superior, la qual señala el
Fig. 4. número de pulgadas y líneas que hay desde la superficie del azogue, donde está introducido el tubo por la parte inferior, hasta donde llega la columna de azogue en el tubo. Es de advertir, que en los barómetros suelen usar de pulgadas francesas, y así quando ántes he dicho que el azogue se mantenia á 32 pulgadas, debe entenderse que se sostiene á 28 pulgadas francesas, que es el equi-

valente. La escala de los barómetros no tiene mas que lo que va dicho, y es simplemente una medida de pulgadas y líneas.

Dos cosas hay que advertir acerca de la altura del azogue en el tubo; 1.ª que es diferente á diferentes alturas sobre la tierra: 2.ª que varía casi continuamente en un mismo parage.

Como el ayre es un cuerpo pesado, es claro que miéntras mayor cantidad de él cargue sobre la superficie del azogue de la cubeta del barómetro, mayor será el peso y mas subirá el azogue en el tubo; y al contrario. Si, pues, tomamos por término de comparacion la superficie del mar, hallarémos que la altura del barómetro viene á ser un dia con otro de 32 pulgadas de Burgos, ó de 28 pulgadas francesas. Otro barómetro, puesto en un parage mas baxo, señalará mayor altura en el azogue. Al contrario, un barómetro puesto en la cima de una montaña, señalará menor altura en el azogue, y miéntras mas alta sea la montaña, mas baxará el azogue en el tubo. De esto se infiere, que por medio de este instrumento se puede conocer si un parage está mas alto que otro, y aun se emplea para este fin con bastante exáctitud. En Madrid suele señalar el barómetro 30 pulgadas de Burgos, ó 26½ pulgadas francesas: y como á la orilla del mar señala 32 pulgadas de Burgos, se sigue que Madrid está mas alto que la superficie del mar. En el Real Sitio de San

Ildefonso suele señalar el barómetro 27 pulgadas de Búrgos, ó 23½ pulgadas francesas; de lo que se deduce que aquel sitio está mucho mas elevado que Madrid. Observemos de paso que todos los efectos procedentes del peso del ayre, serán diferentes, segun sea la altura en que se verifiquen; lo que tiene grandes é importantes aplicaciones en la Física, en la Medicina, y en las Artes.

El otro punto que vamos á considerar es la variacion de la altura del barómetro en un mismo parage. Se observa en efecto, que el azogue sube y baxa en el tubo, estando el barómetro en un mismo sitio. Son varias las causas que pueden producir este efecto; mas en este lugar solo dirémos, que quando el tiempo está sereno, el azogue se mantiene á cierta altura, y quando ésta disminuye es señal de lluvia, ó de tempestad si baxa mucho. Esto se halla indicado en los barómetros, aunque no suele estarlo bien; porque estas dos alturas, máxima y mínima, á que sube el azogue, no es la misma en todas partes; ademas de que, como ántes se dixo, la altura media ó comun varía segun son los sitios mas ó ménos altos. Así, pues, esta indicacion de *buen tiempo*, *lluvia*, *tempestad*, *&c.* hecha para un parage, no puede servir en otro, y es necesario variarla.

Acabo de decir que el azogue sube y baxa en un mismo parage, y que esta diferencia entre la mayor y menor altura no es

la misma en todas partes. La causa de esto no está averiguada. Si se considera que la atmósfera, por razon del movimiento de rotacion al rededor del exe de la tierra, puede tener, para que el equilibrio subsista, la figura de un elipsoide acortado por los polos, se podrá dar razon de este fenómeno. La densidad del ayre varía segun la altura, é imaginándolo compuesto de capas, cada una de densidad uniforme, el grueso de estas será mayor en el equador que hácia los polos. Si la densidad del ayre varía, llegando á ser, por exemplo, mayor, el grueso de estas capas será menor; pero en el equador será este siempre mayor que hácia los polos; de manera que á igual distancia del centro de la tierra sobre la superficie de esta, podrá casi no variar la densidad del ayre en el equador, miéntras será grande esta variacion á mucha mayor latitud. De esto se infiere que la diferencia entre la máxima y mínima altura del barómetro, debe ser muy pequeña en el equador, y muy grande hácia los polos. = A 20 de Mayo de 1760.

CARTA 13.

Habiendo explicado ya á V. A. la singular propiedad del ayre que llaman *compre-*

sibilidad, en virtud de la qual se puede reducir á un espacio menor, podemos pasar á dar razon de varios efectos tanto de la naturaleza como del arte. Empezaré por las escopetas de viento, pues no dudo que V. A. conoce bien este instrumento. Su construccion es parecida á la de las escopetas ordinarias, solo que en lugar de polvora, se usa del ayre condensado, para expeler la bala. Para entender como sucede esto, conviene observar que el ayre no puede estar comprimido sino por una fuerza proporcional al grado de condensacion que se quiere obtener: en este estado, hace esfuerzo por extenderse, que es cabalmente igual á la fuerza necesaria, para reducirlo al volúmen que ocupa actualmente. Por consiguiente, quanto mas denso está el ayre, tanto mayor es el esfuerzo que hace para dilatarse: de suerte que quando está reducido á una densidad dos veces mayor que si está libre, lo que se verifica quando se le encierra en un espacio dos veces menor, la fuerza con que procura extenderse, es igual á la presion de una columna de agua de 37 pies de altura. Imagine V. A. un tonel, de la misma altura, lleno de agua: el líquido hará grandes esfuerzos sobre el fondo. Si se le hace un agujero, saldrá con mucha fuerza, y si se cierra con el dedo se siente esta presion, que es la misma que sufren todas las partes del fondo del tonel; del mismo modo un vaso que contenga ayre

dos veces mas denso que el de la atmósfera, debe sufrir igual fuerza, y si no es bastante fuerte para sostenerla, se romperá. Es pues necesario, que las paredes de este vaso, sean tan fuertes como las del fondo del tonel de que acabo de hablar. Si en el mismo vaso estuviese el ayre tres veces mas denso que está ordinariamente, la fuerza que haria contra las paredes seria aun una vez mayor é igual á la que tendria que sostener el fondo de un tonel, de 74 pies de altura, lleno de agua. V. A. concibe fácilmente, que esta fuerza será muy grande, y que crecerá, siguiendo esta ley, segun los diferentes grados de condensacion del ayre.

Sentado esto, en el fondo de la escopeta de viento, hay una cavidad bien cerrada por todas partes, en la qual se comprime sucesivamente el ayre para reducirlo á un grado de densidad tan grande como lo permiten las fuerzas que se emplean en ello; por cuyo medio el ayre encerrado en esta cavidad, adquiere una fuerza enorme para escaparse; y si se le hace una abertura, se escapa efectivamente, con una velocidad proporcional á la fuerza mencionada. En efecto hay una abertura que comunica con la cavidad del tubo, donde se coloca la bala, la qual está bien cerrada; pero quando se quiere tirar, se abre un instante la válvula que la cierra, y el ayre se escapa, expeliendo la bala con toda la velocidad que observamos

quando sale. La válvula está abierta un solo instante cada vez que se tira, con lo qual solo sale una cierta cantidad de ayre, quedando aun bastante para tirar muchas veces. No obstante, su densidad y resorte se disminuyen á cada tiro; y por esta razon, los tiros siguientes alcanzan ménos, y tienen ménos fuerza que los primeros, hasta que al fin se pierde del todo su fuerza. Si permaneciese abierta mucho tiempo la válvula, saldria mas viento, lo que seria inútil, porque la fuerza de este no obra en la bala sino quando esta se halla en el cañon de la escopeta, y así es inútil dexar salida al ayre luego que aquella salió. Por donde se ve que si se pudiese llegar á condensar mucho mas este fluido, las escopetas de viento producirian el mismo efecto que las ordinarias y aun que los cañones; pues el efecto de la artillería está fundado en el mismo principio. La pólvora es una materia que contiene en sus poros un ayre sumamente denso (*a*). La naturaleza ha efectuado en ella las mismas operaciones que nosotros empleamos para comprimir el ayre, solo que ha llevado la condensacion á un grado mucho mayor. No se necesita mas que abrir las pequeñas cavida-

(*a*) Los nuevos conocimientos de la Física han variado esta explicacion en algun modo. El efecto de la pólvora procede de la gran cantidad de fluidos elásticos que se desprenden de ella al tiempo de su combustion.

des en que está detenido este ayre denso para facilitarle la libertad de escaparse, lo que se executa por medio del fuego, que abre estas celdillas: el ayre se escapa entónces repentinamente con una velocidad suma, y expele las balas de una manera semejante á la que hemos visto en las escopetas de viento, pero con mucha mas fuerza.

Tenemos, pues, dos efectos maravillosos nacidos de la condensacion del ayre, con solo la diferencia que el uno es obra del arte, y el otro de la naturaleza. Por donde vemos que en este caso se verifica como siempre, que las operaciones de la naturaleza son infinitamente superiores á las del ingenio humano. = A 24 de Mayo de 1760.

CARTA 14.

Ademas de las propiedades de que he tenido el honor de hablar á V. A., el ayre tiene otra muy singular, *que es comun á todos los cuerpos*, sin exceptuar los sólidos, y es la mudanza que producen en él el frio y el calor. Obsérvase generalmente que todos los cuerpos se dilatan ó aumentan de volúmen quando se calientan. Una barra de hierro muy caliente es algo mas larga y mas

gruesa que quando está fria. Hay un instrumento llamado *pirómetro* que indica sensiblemente las menores dilataciones ó contracciones de una barra de qualquier metal que se ponga en él. V. A. sabe que en un relox hay algunas ruedas que caminan con mucha lentitud, miéntras que el movimiento de otras es muy rápido, aunque lo ocasionan las primeras. Mediante un mecanismo semejante, se puede hacer que de una mudanza casi insensible, resulte otra bastante considerable, y esto es cabalmente lo que se practica en el pirómetro que acabo de mencionar. Este tiene un *índice* que corre un grande espacio á la menor mudanza que haya en la longitud de los cuerpos que se quieran observar. Si se coloca en este instrumento una barrita de hierro, y debaxo una lamparilla para calentarla, el índice camina, y muestra que la barra se alarga; quanto mas se aumenta el calor, tanto mas crece la longitud de la barra; pero si se apaga la luz, y se dexa enfriar la barra, el índice se mueve hácia la parte opuesta, y muestra así que se va acortando. Sin embargo, es tan pequeña esta mudanza, que seria sumamente difícil notarla sin el auxílio de un instrumento. No obstante, en los reloxes de péndulo, que se suelen llamar *péndolas*, se nota esta variacion. El péndulo sirve en el relox para moderar su movimiento; de modo que si se alarga, el relox anda con mas lentitud, y si se acor-

ta, adelanta. Se ha observado que en los grandes calores, todos los reloxes de esta especie se atrasan, y en los grandes frios adelantan, lo que prueba ciertamente que el péndulo se alarga ó acorta segun el temple. Todos los cuerpos padecen esta alteracion; pero la cantidad de ella varía mucho, segun la naturaleza de la materia de que están formados: en los fluidos es muy sensible esta variacion. Para convencerse, se toma un tubo de vidrio BC, en cuyo extremo B hay una bola hueca A, y se llena de un líquido qualquiera hasta M. Si se calienta la bola A, el líquido sube de M hácia C, y si se enfria baxa hácia B; por donde se ve claramente que un mismo líquido ocupa mayor espacio quando se calienta, y menor quando se enfria. Tambien se ve que esta variacion será mas sensible quando la bola sea mayor y el tubo mas estrecho; porque si toda la masa de líquido aumenta ó disminuye una milésima parte, ocupará esta en el tubo un espacio tanto mayor quanto mas estrecho sea. Fig. 5.

Este instrumento es pues adequado para indicarnos los diversos grados de calor y frio, porque si el líquido sube ó baxa, es señal segura de que el calor aumenta ó disminuye. Este es el instrumento que se llama *termómetro*, el qual nos muestra las mudanzas de temple del ayre y de los cuerpos que nos rodean, y no se debe confundir con el *barómetro*, que nos indica el peso del ayre, ó

mas bien la fuerza que lo comprime. Es tanto mas necesario este aviso, quanto los termómetros y barómetros se parecen mucho: ámbos son unos tubos de vidrio llenos de azogue, solo que su construcion y los principios en que están fundados, son muy diferentes.

La propiedad que tienen los cuerpos de dilatarse con el calor y contraerse con el frio, pertenece tambien al ayre, y en un grado eminente, de lo que hablaré mas largamente en mi primera carta. = A 27 de Mayo de 1760.

ADICION

El termómetro es un instrumento muy comun, y merece que de él se explique á lo ménos lo que pueda servir á la inteligencia de su uso en la sociedad.

El termómetro es un tubo de vidrio que por abaxo remata en una bola ó en una espiral, cerrado por arriba, y dentro de él hay azogue ó espíritu de vino. La materia del calor dilata el líquido del termómetro, y así quando sube se dice que el calor aumenta, y al contrario quando baxa.

En los termómetros se ve, al lado del tubo, una especie de escala, y á veces dos. Esto se hace del modo siguiente. Los Físicos han convenido en tomar cierto grado de condensacion del líquido del termómetro por

término de comparacion. Este grado es el que se verifica quando el termómetro está metido en yelo, ó mas bien al tiempo de empezar á liquidarse el yelo. Entónces se observa el azogue en el tubo, y se le pone una señal. Para tener otro punto fixo ú otro término de comparacion, meten el tubo en el agua, y la hacen hervir; entónces observan la altura del azogue ó del líquido que está dentro del tubo, y se le pone otra señal. Es de advertir que, en llegando el agua á hervir, no adquiere mas calor, por lo que el azogue va subiendo en el tubo hasta que hierve el agua, y despues no sube mas.

A la primera señal hecha en el tubo, se le llama el *grado de la congelacion* ó de yelo, y al otro punto se le llama el *grado del agua hirviendo*. La distancia entre estos dos puntos se divide en un número de partes que es arbitrario, y á estas se les llama *grados*. Si dicha distancia se divide en 80 partes, esta escala se llama de *Reaumur*. Hay otras muchas divisiones, y ninguna de ellas tiene particular ventaja: solamente es recomendable la escala decimal; esto es, la que se forma dividiendo en cien partes iguales la distancia entre los dos puntos referidos del yelo y del agua hirviendo.

Este instrumento así graduado, tiene muchos usos en las ciencias; hay muchos millares de experimentos diarios hechos con él, de los quales unos sirven, y otros podrán

servir en lo sucesivo. Hay personas que lo tienen en su quarto para graduar el calor ó el temple en el invierno; pero es de advertir que para conocer por medio de él el temple del ayre fuera del aposento, se le ha de sacar tambien fuera, pues dentro de los aposentos hace ménos frio en el invierno, y ménos calor en el verano. Por medio de este instrumento se ha desterrado aquel error antiguo, de que en los sótanos y cuevas hacia mas frio en el verano y mas calor en el invierno. El temple de estos parages subterráneos es casi siempre el mismo, segun lo indica el termómetro; y la diferencia que notamos es relativa al temple de nuestro cuerpo; del mismo modo que experimentamos en el verano, quando se muda repentinamente el temple del ayre, un frio que nos parece excesivo, y que no nos pareceria tal si la variacion hubiera sido ménos repentina.

La construccion de este instrumento es bastante delicada; y por lo comun no se executa con la atencion y el esmero que se necesita. Por eso es que se nota suma diferencia de precio, entre un termómetro hecho por un artista inteligente, y otro construido por los que corren las calles vendiendo malos termómetros.

Concluiré este punto, advirtiendo á los que construyen termómetros, que para señalar el punto ó grado del agua hirviendo, se ha de atender al peso del ayre indicado por

la altura del barómetro. El agua adquiere ménos calor quando es menor la presion del ayre: así si el termómetro señala 30 pulgadas de Búrgos, ó 26 pulgadas francesas, el agua hervirá con ménos calor que si aquel señalase $32\frac{1}{2}$ pulgadas de Búrgos, ó 28 pulgadas francesas. Es conveniente graduar los termómetros de suerte que todos se correspondan en su escala, y para ello se ha de tomar por regla el graduarlos segun corresponde á la presion del ayre de $32\frac{1}{2}$ pulgadas de Búrgos, ó 28 pulgadas francesas, que es la altura comun á la orilla del mar. De aquí es, que si en Madrid se señala el grado del agua hirviendo quando el barómetro está á 30 pulgadas de Búrgos, ó 26 pulgadas francesas, no se ha de señalar en dicho grado el número 80 para la escala de Reaumur, sino $78\frac{1}{2}$; esto es, la distancia entre los dos términos de congelacion y de agua hirviendo, se ha de dividir en $78\frac{1}{2}$ partes iguales, para que el termómetro corresponda á otro hecho cerca de la orilla del mar, donde el barómetro señala $32\frac{1}{2}$ pulgadas de Búrgos, ó 28 pulgadas francesas. Si el barómetro señalase en Madrid 30,7 pulgadas de Búrgos, ó $26\frac{1}{2}$ francesas, se deberá dividir dicha escala en 79 partes (*a*).

(*a*) V. Mem. sur la force expansive de la vapeur de l'eau. P. Mr. de Betancourt.

CARTA 15.

El calor y frio producen en el ayre, el mismo efecto que en los demas cuerpos; aquel lo rarifica, y este lo condensa. V. A. ve claramente, en virtud de lo que he tenido el honor de decirla sobre el resorte del ayre; que una cierta cantidad de este fluido no está determinada á ocupar cierto espacio, como los demas cuerpos, sino que por su naturaleza procura siempre dilatarse, y se dilata en efecto, luego que no encuentra obstáculo que se le oponga. Esta propiedad se llama la *elasticidad del ayre.* Quando está encerrado en un vaso, hace esfuerzos para romperlo, tanto mayores quanto mas denso es: de donde se ha sacado la regla que la *elasticidad del ayre es proporcional á su densidad:* de modo que quando es dos veces mas denso, su elasticidad es dos veces mayor; y en general, un cierto grado de elasticidad corresponde á un grado de densidad proporcional. No obstante, debe observarse que no es cierta esta regla, sino quando el ayre conserva el mismo grado de calor; y que luego que adquiere mas calor, adquiere tambien mas fuerza de ex-

pansion que la que tendria solo por su densidad. El frio produce el efecto contrario, que es de disminuir su fuerza expansiva.

Para conocer pues la elasticidad de una masa de ayre, no basta saber la densidad que tiene, sino que es menester tambien conocer el grado de calor. Para aclarar mas esto, supongamos dos aposentos, bien cerrados por todas partes, que tengan comunicacion por una puerta, y que haya en ámbos el mismo grado de calor, para lo qual es preciso que en ámbos tenga el ayre el mismo grado de densidad; porque si estuviese mas denso, y por consiguiente mas elástico en uno que en otro, se escaparia una parte del primero y entraria en el segundo, hasta que la densidad fuese igual en ámbos. Supongamos ahora que uno de los aposentos se pone mas caliente que el otro; en este caso, el ayre adquirirá mayor elasticidad, se dilatará, y pasará al segundo aposento, y reducirá al que hay en él á ocupar un espacio menor, hasta que la elasticidad llegue á estar á un mismo grado en uno y otro. Durante esta mudanza, correrá un viento en la puerta, que irá del aposento caliente al que lo está ménos; y luego que esté restablecido el equilibrio, el ayre del aposento caliente estará mas raro, y el del frio mas denso, no obstante que la elasticidad será en ámbos la misma. Por lo que se ve claramente, que dos masas de ayre de diferente densidad, pueden tener la misma

elasticidad, estando la una mas caliente que la otra; como tambien, que teniendo diferente grado de calor é igual densidad, tengan diferentes grados de elasticidad.

Lo que se ha dicho de dos aposentos, se aplica naturalmente á dos regiones; infiriéndose de esto, que quando una region llega á estar mas caliente que otra, el ayre debe necesariamente correr de la primera hácia la segunda, de donde resulta el *viento.* Tenemos pues una causa de los vientos bastante fecunda, aunque quizá hay otras, que consisten en los varios grados de calor que hay, en diferentes regiones de la Tierra: pudiéndose demostrar que todo el ayre que rodea á la Tierra, no podria estar en reposo, á ménos que no hubiese en todas partes, á iguales alturas, un mismo grado de densidad y calor. Al contrario, si sucediese que no hubiese viento en toda la superficie de la Tierra, se podria inferir con seguridad, que el ayre estaba igualmente denso y caliente por todas partes á iguales alturas; y como esto no se verifica nunca, es preciso que, á lo ménos, en algunas regiones haya siempre vientos. Estos no reynan por la mayor parte, sino sobre la superficie de la Tierra, de suerte que quanto mas arriba subimos, ménos violentos son. En los montes mas altos no hay casi vientos (a),

(a) Esto no parece que es muy exácto, porque en virtud del movimiento de rotacion de la Tierra, debe reynar un viento perpetuo de oriente á occidente como

reynando allí una perpetua calma : por lo que no se puede dudar, que el ayre permanezca siempre en reposo, en las alturas considerables. De donde se sigue, que en las regiones mas altas, hay en todas partes, y sobre toda la Tierra, un mismo grado de calor y densidad; porque si hiciese mas calor en un lugar que en otro, el ayre no podria estar en reposo; y como en las regiones altas no hay viento, es preciso que el grado de calor sea siempre el mismo en todas partes; lo que es una paradoxa muy singular, en vista de las grandes variaciones de calor y frio, que experimentamos en la superficie de la Tierra en el discurso de un año, y á veces de un solo dia, dexando á parte la diferencia de climas, esto es, los calores insoportables del equador, y los horribles yelos de los polos. Sin embargo, la experiencia misma confirma este hecho singular. La nieve y el yelo duran así en el invierno como en el verano sobre los montes de la Suisa, y son inalterables en las *cordilleras* del Perú, situadas baxo el equador, donde reyna un frio tan excesivo como en las regiones pola-

resulta de la teoría de los vientos de Mr. d'*Alembert*. Ademas la atraccion de la Luna, que puede elevar las aguas del globo, comunica sin duda algun movimiento á la atmósfera, de donde nacerán corrientes de viento.

Si se perfeccionan los globos aerostáticos, podrán servir para darnos conocimientos satisfactorios sobre este punto de Meteorologia.

res. La altura de estos montes, no llega á una milla de Alemania ó 28000 pies de Castilla; por lo que podrémos concluir, que si pudiéramos elevarnos á la altura de 28000 pies sobre la Tierra, encontrariamos siempre el mismo grado de frio por todas partes, y aun un frio considerable (*a*), y no notariamos diferencia alguna, ni en invierno ni en verano, ni cerca del equador ni de los polos. A esta altura, ó á mayor, el estado de la atmósfera es siempre y por todas partes el mismo; de suerte que las variaciones de calor y frio, no se verifican sino cerca de la superficie de la Tierra; y solo acá abaxo se siente el efecto de los rayos del Sol. V. A. desea sin duda saber la razon, lo que será la materia de mi primera carta. = A 31 de Mayo de 1760.

(*a*) En el viage aerostático de 1 de Diciembre de 1783 se experimentó esta mudanza de temple, pues señalando 7 grados sobre cero el termómetro en Tierra, á los 10 minutos de ascension baxó à 5 grados baxo cero.

CARTA 16.

Parece muy extraño, que se haya de experimentar el mismo grado de frio en todas las regiones, en elevándose á una altura notable como 28000 pies, siendo tan considerables las variaciones del calor en la tierra, no solo en diferentes climas, sino en un mismo parage en diferentes estaciones del año. Esta variedad, en la superficie del globo, dimana sin duda del Sol: y parece que su influencia debe ser la misma arriba que abaxo, particularmente quando creemos que una altura de 28000 pies, aunque muy grande respecto de nosotros, y que supera la altura de los montes mas altos, no es nada en comparacion de la distancia del Sol, que es de cerca de 27 millones de leguas. Esta es una duda muy importante, que es necesario aclarar.

Para esto observo, que los rayos del Sol no calientan los cuerpos, sino en quanto estos no les dexan pasar libremente. V. A. sabe que se llaman *transparentes*, *pelúcidos* ó *diáfanos*, los cuerpos al traves de los quales podemos ver los objetos; tales son el vidrio, el cristal, el diamante, el agua y otros

muchos líquidos, aunque unos sean mas ó ménos transparentes que otros. Qualquiera de estos cuerpos, expuesto al Sol, no se calienta tanto como los no transparentes, quales son la madera, el hierro, &c. A estos cuerpos no transparentes, se les da el nombre de *opacos*. Una lente ustoria, por exemplo, transmite los rayos del Sol, y quema los cuerpos opacos sin calentarse: el agua expuesta al Sol, se calienta algo por no ser muy transparente; y quando vemos que está muy caliente en las orillas de los rios, es porque el fondo, que es cuerpo opaco, se ha calentado con los rayos que pasan al traves del agua: y como un cuerpo caliente comunica su calor á los circunvecinos, el agua recibe el calor del fondo. Si el agua tiene tanta altura que los rayos no pueden penetrar hasta el fondo, no se siente en ella casi ningun calor, aunque la dé el Sol. Siendo el ayre un cuerpo sumamente transparente, en un grado mucho mayor que el vidrio y el agua, se sigue que no podrá calentarlo el Sol, porque pasarán al traves sus rayos libremente. El calor que sentimos regularmente en el ayre, se lo han comunicado los cuerpos opacos, que han calentado los rayos del Sol; y si fuese posible extinguir todos estos cuerpos, los rayos del Sol no alterarian en ninguna manera el temple del ayre, y permaneceria siempre igualmente frio, estuviese ó no expuesto á ellos.

Sin embargo, la atmósfera á veces está cargada de vapores, de tal suerte que pierde su transparencia presentándonos una niebla espesa: quando el ayre se encuentra en este estado, los rayos del Sol obran mas en él, y lo calientan inmediatamente. Los vapores no suben á una grande altura, de modo que á la de 28000 pies, y mas arriba, el ayre está tan sutil y puro que es del todo transparente; por lo que los rayos del Sol no podrian producir en él ningun efecto. Tambien está este ayre muy distante de los cuerpos terrestres, y por tanto no pueden comunicarle su calor, porque solo lo comunican á los cuerpos que los rodean.

V. A. ve claramente que los rayos del Sol no pueden producir efecto ninguno en las regiones superiores del ayre, y que en ellas debe siempre reynar el mismo grado de frio, porque el Sol no tiene allí ninguna influencia, y el calor de los cuerpos terrestres no puede comunicarse hasta allá. Lo mismo sucede en los montes altos, sobre los quales hace siempre mas frio que en los llanos y valles (*a*). La ciudad de Quito, en

(*a*) Encima de estos montes hay nubes en tanta cantidad como encima de los llanos, como lo prueban las nieves que cubren la cima de los mas altos. Pocos naturalistas hay á quienes no hayan sorprehendido las nubes en sus *excursiones* por los montes. El calor que se siente quando se forman nubes, debe atribuirse casi enteramente al paso del agua que se en-

el Perú, está casi baxo el equador; y atendiendo á su situacion, deberia hacer en ella un calor insoportable: á pesar de eso el ayre está muy templado; y no difiere mucho del de Paris. Quito está situada en una altura considerable de la verdadera superficie de la Tierra (*a*). Para ir á ella, desde las orillas del mar, se necesita estar subiendo por muchos dias; de modo que está sobre un terreno tan elevado como nuestros mas altos montes, ademas de estar rodeada de otros, que son tambien bastante altos, y se llaman las *Cordilleras*. Esta última circunstancia daria ocasion de creer, que el ayre debia estar tan caliente como en la superficie de la Tierra, una vez que por todas partes está en contacto con cuerpos opacos, sobre los quales dan los rayos del Sol. Esta objecion es fuerte, y no puede haber otra razon, sino que estando el ayre en Quito muy elevado, debe ser mucho mas sutil y ménos pesado que el nuestro, lo que prueba irrefragablemente el barómetro manteniéndose algunas pulgadas mas baxo. Un ayre semejante no es capaz de calentarse tanto como otro, porque debe contener ménos vapores, y otras partículas que nadan comunmente en la atmósfera; y

contraba disuelta en el ayre en forma de fluido elástico, al estado de liquidéz.

(*a*) La altura de Quito sobre la superficie del mar es de 3530 varas castellanas. *Observacion. Astronomic. P. D. Jorge Juan.*

sabemos por experiencia, que un ayre muy cargado es mas propio para calentarse.

Tambien añadiré aquí otro fenómeno nó ménos singular, y es que en las cavernas profundas, y mas abaxo si fuese posible llegar, reyna siempre y en todas partes el mismo grado de calor, casi por la misma razon. Como los rayos del Sol no exercen su accion sino en la superficie de la Tierra, y el calor que excitan se comunica de arriba abaxo, es casi insensible este efecto á una profundidad notable, lo mismo que sucede en las alturas considerables. Espero que la curiosidad de V. A. quedará satisfecha con esta explicacion. = A 3 de Junio de 1760.

CARTA 17.

Despues de haber hablado de los rayos del Sol, que son el centro de todo el calor y la luz de que gozamos, preguntará sin duda V. A. ¿qué son estos rayos? Esta es, sin disputa, una de las qüestiones mas importantes de la Física, de la qual se derivan una infinidad de fenómenos. Todo lo que pertenece á la luz, y lo que nos hace visibles los objetos, está ligado estrechamente con esta qüestion. Los Filósofos de la an-

tigüedad no parece que la miráron con mucho interes, contentándose la mayor parte con decir, que el Sol tiene la qualidad de calentar, alumbrar y lucir. Pero entónces se preguntará ¿en qué consiste esta qualidad? ¿Vienen algunas porciones infinitamente pequeñas del Sol mismo ó de su substancia hasta nosotros, ó sucede de un modo semejante al sonido de una campana, que oimos sin transmitirse á nuestros oidos ninguna parte de ella, conforme he tenido el honor de exponer á V. A, explicándola la propagacion y percepcion del sonido? Descártes fué el primero de los Filósofos modernos, que siguió este último parecer, y habiendo llenado todo el universo de una materia sutil compuesta de globulillos, á que llama el segundo elemento, supone que el Sol está en una continua agitacion, la que comunica á estos glóbulos, y pretende que este movimiento se transmite en un instante en todo el universo. Esta opinion, ademas de otros inconvenientes, se abandonó luego que se descubrió que los rayos del Sol no llegan á nosotros en un instante, sino que necesitan 8 minutos para correr esta grande distancia (a).

(a) Este descubrimiento importante, hecho al fin del siglo pasado, se debe á *Roemer*, sabio Dinamarques, de la antigua Academia de las Ciencias de Paris. Guiólo á el una desigualdad de los satelites de Júpiter. La causa de la aberracion que averiguó Mr. Bradley en 1728 probó el mismo fenómeno de un modo irrefragable.

Despues, el gran Newton abrazó el primer sistema, y sostuvo que los rayos luminosos salen realmente del cuerpo de este astro, el qual lanza las partículas de la luz con la velocidad prodigiosa que las trae hasta nosotros en 8 minutos con corta diferencia. Este parecer, que es el de la mayor parte de los Filósofos modernos, y sobre todo de los Ingleses, se llama el *sistema de la emanacion*; porque se cree que los rayos emanan del Sol y demas cuerpos luminosos, como el agua emana ó corre de una fuente. Esta opinion parece, á primera vista, muy singular, y contraria á la razon; porque si el Sol arroja continuamente hácia todas partes, rios de materia luminosa, con una velocidad tan prodigiosa, deberia desvanecerse pronto; ó á lo ménos despues de tantos siglos, se deberia notar en él alguna alteracion, lo que no es conforme á las observaciones. Es indubitable, que si una fuente arrojase caños de agua hácia todos lados, se agotaria tanto mas pronto, quanto mayor fuese su velocidad: lo qual deberia suceder al Sol con tanta mas razon, quanto lanza sus rayos con una velocidad prodigiosa. Por mas que se supongan sutiles las partículas de que están formados los rayos, el sistema repugna siempre del mismo modo. No se puede decir que esta emanacion no se efectua hácia todos lados, porque en qualquier parte que uno se ponga ve el Sol entero; lo que prueba evidentemente que

de todos los pùntos del Sol salen rayos hácia aquel parage. Así, este caso es muy diferente del de una fuente que arrojase caños de agua hácia todas partes; pues los caños no salen mas que de un parage hácia una sola parte, y cada punto solo da uno, en lugar que cada punto de la superficie del Sol arroja una infinidad de ellos, que se difunden hácia todas partes. Esta sola circunstancia aumenta al infinito la cantidad de materia luminosa que el Sol tendria que difundir. Otro inconveniente, que no parece menor, es que no solo el Sol despide rayos, sino tambien todas las estrellas; y como en donde quiera habria rayos del Sol y de las estrellas que se encontrarian, ¡con qué ímpetu no chocarian unos con otros! ¿Quánto no se mudaria su direccion? Este encuentro de los rayos deberia verificarse en todos los cuerpos luminosos que se ven á un tiempo: sin embargo, cada uno aparece con distincion, sin padecer la menor desfiguracion de parte de los demas; prueba cierta, que pueden pasar muchos rayos por un mismo punto sin turbarse unos á otros, lo que parece que no puede conciliarse con el sistema de la emanacion. En efecto, si se encuentran dos caños de agua, se ve que su curso se turba considerablemente; por lo que debemos inferir, que el movimiento de los rayos de luz, es esencialmente diferente del de los caños de agua, y en general, de todas las materias proyécti-

les. Si se consideran despues los cuerpos transparentes, al traves de los quales pasan los rayos libremente hácia todas partes, se ven obligados los partidarios de este sistema, á decir que estos cuerpos contienen poros dispuestos en lineas rectas, que salen de cada punto de la superficie hácia todas partes; de suerte que no se podria concebir linea ninguna por donde un rayo de Sol no pueda pasar sin encontrar obstáculo. Están pues estos cuerpos sumamente acribillados, sin embargo que nos parecen muy sólidos. Finalmente, para ver, es menester que entren en nuestros ojos los rayos, y atraviesen su substancia con la misma velocidad.

Creo que todos estos inconvenientes convencerán bastante á V. A. de que el sistema de la emanacion no puede verificarse de ninguna manera en la naturaleza, y admirará sin duda que lo haya imaginado un hombre tan grande, y que lo hayan abrazado tantos Filósofos esclarecidos. Pero Ciceron ha observado ya, que no hay cosa tan absurda, que no sean capaces de sostener los Filósofos. Por lo que hace á mí, soy muy poco Filósofo para adoptar este parecer. = A 7 de Junio de 1760.

CARTA 18.

Aunque á V. A. parezca extraña la opinion del célebre Newton, de que los rayos provienen del Sol mediante una emanacion continua, sin embargo ha encontrado una aprobacion tan general, que casi nadie se atrevia á dudar de ella. Lo que sin duda ha contribuido mas á esto, es la grande autoridad del Filósofo Ingles, que fué el primero que descubrió las verdaderas leyes de los movimientos de los cuerpos celestes, lo que le guió al sistema de la emanacion.

Descártes se vió obligado, para sostener su explicacion, á llenar todo el espacio del cielo, de una materia sutil, al traves de la qual se moviesen libremente todos los cuerpos celestes. Pero se sabe que si un cuerpo se mueve en el ayre, encuentra cierta resistencia: de lo que Newton deduxo que, por sutil que se suponga la materia del cielo, los planetas debian retardar algo su movimiento; y como, segun este Filósofo, no se verifica esto, se sigue, que el espacio inmenso de los cielos, no contiene materia ninguna, sino que hay en todas partes un vacío perfecto, siendo uno de los principales

dogmas de la Filosofía Newtoniana, que la inmensidad del universo no contiene materia, en el espacio que hay entre los cuerpos celestes. Esto sentado, habrá un vacío absoluto desde el Sol hasta nosotros, ó á lo ménos hasta la atmósfera de la Tierra: efectivamente quanto mas subimos tanto mas sutil encontramos el ayre, por lo que parece que al fin debe perderse enteramente. Si está absolutamente vacío el espacio entre el Sol y la Tierra, es imposible que vengan los rayos hasta nosotros por comunicacion, como el sonido de una campana que se transmite por medio del ayre, de suerte que, si faltase este intermedio, no la oiriamos por mas fuerza que se emplease en tocarla. Establecido pues el vacío perfecto entre los cuerpos celestes, no queda que abrazar otro parecer sino el de la emanacion, y esto es lo que obligó á Newton á sostener, que los rayos del Sol y demas cuerpos luminosos, son siempre una partícula infinitamente pequeña de su masa, arrojada con una fuerza terrible; y en efecto deberia serlo bastante, para dar á los rayos la velocidad prodigiosa con que vienen del Sol á nosotros, en 8 minutos de tiempo. Pero veamos si esta explicacion conviene con la principal mira de Newton, que exîge un espacio absolutamente vacío en los cielos, para que los planetas no encuentren ninguna resistencia.

V. A. juzgará fácilmente, que en lugar

de quedar vacío el espacio en que se mueven los cuerpos celestes, lo llenan los rayos, no solo del Sol, sino tambien de todas las demas estrellas que lo atraviesan continuamente, por todas y hácia todas partes, con una velocidad suma. En lugar pues de encontrar un vacío los cuerpos celestes, encontrarán la materia de los rayos luminosos en una agitacion terrible, que debe turbar el movimiento de estos cuerpos, mucho mas que si estuviera en reposo. De este modo Newton, temiendo que una materia sutil como la suponia Descártes, turbase el movimiento de los planetas, se valió de un expediente muy extraño, enteramente contrario á su intencion, porque por este medio los planetas deberian padecer una perturbacion mucho mayor.

Ya he tenido el honor de exponer á V. A. otras muchas dificultades insuperables en el sistema de la emanacion, y ahora vemos que la principal y aun la única razon que obligó á Newton á formar este sistema, es tan contradictoria en sí misma, que lo destruye enteramente. Todas estas razones juntas, no pueden dexarnos dudar de desaprobar este extraño sistema de la emanacion de la luz, sin reparar en la grande autoridad del Filósofo que lo inventó. Newton fué sin duda uno de los mayores talentos que han exîstido: su profunda ciencia, y su penetracion en los mas ocultos misterios de

la naturaleza, serán siempre el objeto de nuestra admiracion y de la posteridad; pero los errores de este insigne hombre, deben servirnos para conocer la flaqueza del entendimiento humano, que, despues de haberse elevado al mas alto grado de que son capaces los hombres, está á riesgo de precipitarse en los errores mas palpables. = A 10 de Junio de 1760.

CARTA 19.

V. A. ha visto que el sistema de la emanacion de los rayos de luz, está sujeto á dificultades insuperables, y que el vacío entre los cuerpos celestes no podria subsistir, porque los rayos de luz lo llenarian enteramente. Por consiguiente, es necesario convenir en dos cosas: una, que el espacio en que se mueven los cuerpos celestes, está lleno de una materia sutil: otra, que los rayos no son una emanacion actual del Sol y demas cuerpos luminosos, en virtud de la qual sale despedida una parte de su substancia, como pretende Newton. La materia sutil que llena el espacio, se llama *éter*, de cuya sutileza no puede dudarse. Para formarnos idéa de esto, no hay mas que considerar

el ayre, que, aunque muy sutil en la superficie de la Tierra, lo es cada vez mas á medida que está mas alto, hasta que, por decirlo así, se pierde enteramente, ó va á confundirse con el éter. Este es pues un fluido como el ayre, pero mas sutil sin comparacion, pues sabemos que los cuerpos celestes lo atraviesan sin encontrar resistencia sensible: es sin duda elástico, y procura difundirse hácia todas partes, y penetrar en los lugares que pudieran estar vacíos; de suerte que, si por algun accidente faltase el éter de algun parage, el fluido circunvecino se precipitaria al instante, y se llenaria de nuevo. En virtud de esta elasticidad, el éter, no solo está encima de la atmósfera, sino que la penetra, é insinuándose por los poros de todos los cuerpos, los atraviesa con bastante libertad. Si se extrae el ayre de un vaso, por medio de la máquina pneumática, no por eso se ha de creer que hay un vacío absoluto; porque el éter pasa por los poros, y ocupa toda su capacidad. Quando se llena de azogue un tubo de vidrio bastante largo, para que invirtiéndolo se forme un barómetro, se cree que la parte superior está vacía, porque el ayre, no pudiendo pasar al traves del vidrio, no puede estar allí; pero este vacío aparente, está lleno del éter, que se introduce sin dificultad. Mediante esta sutileza y elasticidad del éter, explicaré despues á V. A. los fenómenos singulares de

la electricidad. Es muy verosímil que la elasticidad del éter es mucho mayor que la del ayre, y que esta causa produce muchos de los fenómenos de la naturaleza. Tampoco dudo que la compresion del ayre en la pólvora es efecto de la fuerza elástica del éter; y sabiendo por experiencia, que en ella está el ayre cerca de mil veces mas denso que ordinariamente, siendo entónces su elasticidad mil veces mayor, es preciso que la elasticidad del éter sea la misma en este caso, y por tanto mil veces mayor que la del ayre. Podemos formarnos una idéa distinta del éter, si lo miramos como un fluido muy semejante al ayre, con la diferencia que el éter es sin comparacion mas sutil y elástico.

Habiendo pues visto que el ayre, á causa de estas mismas qualidades, ès apto para recibir las agitaciones ó estremecimientos de los cuerpos sonoros, y transmitirlos hácia todas partes, como se ve en la propagacion del sonido, es muy natural pensar que el éter puede, en las mismas circunstancias, recibir tambien los estremecimientos de la misma manera, y transmitirlos del mismo modo á mayores distancias. Supuesto que las vibraciones del ayre producen el *sonido*, V.A. adivinará sin duda que las del éter producirán la luz. En efecto, parece evidente que la luz es respecto del éter lo que el sonido relativamente al ayre; y que los rayos de luz no son mas que unas vibraciones trans-

mitidas por el éter, como el sonido consiste en ciertas vibraciones transmitidas por el ayre. En este caso, el Sol no pierde jamas de su substancia, como no pierde tampoco una campana; y no hay que temer, en este sistema, que la masa de este astro padezca nunca diminucion alguna. Lo mismo digo de todos los cuerpos luminosos, como de la llama de una vela, &c. V. A. me hará la objecion de que estas luces terrestres se consumen, apagándose muy pronto, á ménos que no tengan pábulo continuamente; por lo qual el Sol debia consumirse, y el paralelo de una campana no es adequado. Pero es menester considerar que estos fuegos, ademas del resplandor, arrojan humo y exhalaciones que se deben distinguir de los rayos de luz, y causan una considerable diminucion, que no se debe atribuir á los rayos de luz; de modo que si se les pudiese separar del humo y demas exhalaciones, la qualidad de lucir por sí sola, no les ocasionaria pérdida ninguna. V. A. habrá visto, que se puede hacer el azogue, luminoso artificialmente, sin que por eso pierda nada de su substancia, lo qual prueba que la luz no causa pérdida ninguna en los cuerpos luminosos. De este modo, aunque el Sol ilumina todo el mundo con sus rayos, no pierde nada de su propia substancia, no siendo su luz mas que el efecto de una agitacion ó estremecimiento sumamente vivo en sus partículas,

que se comunica al éter inmediato, cuyo fluido lo transmite hácia todas partes, hasta los puntos mas distantes, como una campana comunica al ayre su agitacion. Quanto mas se considera este paralelo entre los cuerpos sonoros y los luminosos, tanto mas parece conforme á la naturaleza y á la experiencia; en lugar que, quanto mas se quiere aplicar á los fenómenos, el sistema de la emanacion, tantas mas dificultades se encuentran. = A 14 de Junio de 1760.

CARTA 20.

La propagacion de la luz se hace en el éter, de un modo semejante á la del sonido en el ayre; y á la manera que el estremecimiento de las partículas del ayre, constituye el sonido, así el de las partículas del éter constituye la luz ó los rayos luminosos; de suerte que *la luz es una agitacion ó estremecimiento de las partículas del éter*, que se encuentra en todas partes, por causa de su extrema sutileza, en cuya virtud penetra todos los cuerpos. No obstante, los cuerpos modifican los rayos de muchas maneras, transmitiendo ó interceptando la propagacion de las vibraciones, de lo que ha-

blaré mas por extenso en adelante: por ahora me ceñiré á la propagacion de los rayos en el éter que llena el espacio inmenso entre los cuerpos celestes, donde la propagacion se efectúa con toda libertad.

Lo primero que se presenta á nuestro entendimiento, es la prodigiosa velocidad de los rayos de luz, que es cerca de 900000 veces mas rápida que el sonido, el que sin embargo corre 1260 pies en un segundo. Esto bastaria para echar por tierra el sistema de la emanacion; pero en este es una conseqüencia natural de nuestros principios, como verá V. A. Estos son los mismos sobre que está fundada la propagacion del sonido en el ayre, que depende, tanto de su densidad, como de su elasticidad. Es claro que si disminuyese la densidad del ayre, se aceleraria el sonido; y si aumentase el ayre de elasticidad, sucederia lo mismo. Si la densidad del ayre se hiciera menor, al mismo tiempo que su elasticidad se aumentase, habria dos razones para que creciese la velocidad del sonido. Concibamos ahora que la densidad del ayre se disminuye y aumenta su elasticidad, de suerte que lleguen á ser iguales á la densidad y elasticidad del éter, y no nos admirará que la velocidad del sonido sea muchos millares de veces mayor que es actualmente; porque V. A. se acuerda de que, segun la idéa que hemos formado del éter, debe ser este fluido mas raro sin comparacion

y mas elástico que el ayre, cuyas dos qualidades contribuyen igualmente á acelerar la velocidad de las vibraciones. En virtud de esto, nada tiene de repugnante la prodigiosa velocidad de la luz, estando de acuerdo con nuestros principios; y el paralelo entre la luz y el sonido, es tan exâcto, que podemos sostener sin miedo ninguno, que si el ayre llegase á ser tan sutil y elástico como el éter, la velocidad del sonido seria tan rápida como la de la luz. La razon que darémos de la prodigiosa velocidad de la luz, será pues la suma sutileza y elasticidad del éter; y siempre que este conserve, en el mismo grado, estas dos qualidades, la velocidad permanecerá la misma. No puede dudarse que el éter tiene, en todo el universo, la misma sutileza y elasticidad; porque si fuese ménos elástico en un lugar que en otro, pasaria á él hasta que se efectuase el equilibrio. La luz de las estrellas se mueve pues con igual velocidad que la del Sol; pero como están mas distantes, debe pasar mas tiempo ántes que sus rayos lleguen á nosotros. Aunque nos parece enorme la distancia del Sol, cuyos rayos llegan en 8 minutos á la superficie de la Tierra, la estrella fixa, mas cercana á nosotros, dista á lo ménos 400000 veces mas que el Sol; por lo que un rayo de luz, que sale de esta estrella, gastará 400000 veces 8 minutos en llegar á nosotros, lo que hace 53333 horas, ó 2222 dias, ó 6 años

con corta diferencia. Hay pues seis años que saliéron de la estrella fixa ménos distante, y probablemente la mas brillante, los rayos de luz que la representan á los ojos de V. A., los que han gastado un tiempo tan considerable en atravesar el espacio que nos separa de este astro. Si Dios criase ahora, á la misma distancia, una nueva estrella fixa, no la veriamos hasta pasados seis años, porque sus rayos no llegarian ántes á nosotros. Si hubiese criado, al principio del mundo, estrellas mil veces mas distantes que de la que hablo, por brillantes que fuesen no las veriamos aun, porque no han pasado todavía 6000 años desde la creacion. El primer Predicador de la Corte de Brunswig, el Señor *Jerusalem*, ha hecho uso de este pensamiento en uno de sus sermones, donde se encuentra el pasage siguiente:

Levantad vuestros pensamientos de la tierra que habitais, á todos los cuerpos del mundo que están sobre vosotros: corred el espacio que hay desde los mas distantes que puedan descubrir vuestros ojos, hasta aquellos cuya luz, desde el momento de la creacion, no ha llegado todavía hasta nosotros. La inmensidad del reyno de Dios permite esta pintura. (*Sermon sobre el cielo y la eterna bienaventuranza.*)

Espero que estas reflexîones excitarán en V. A. los deseos de continuar instruyéndose en lo tocante al sistema de la luz, de

donde se deriva la teoría de los colores y de la vision. = A 17 de Junio de 1760.

CARTA 21.

Lo que he tenido el honor de decir á V. A. acerca del tiempo que gasta la luz de las estrellas en venir hasta nosotros, da idéa de la extension y grandeza del mundo. La velocidad del sonido que corre un espacio de 1260 pies por segundo, nos suministra casi la primera medida, la que es cerca de 252 veces mas rápida que la de un hombre que anda bien. La velocidad de los rayos de luz es cerca de 900000 veces mayor que la del sonido, corriendo en cada segundo el espacio de mil y cincuenta millones de pies, ó 43780 leguas. ¡Prodigiosa velocidad! Sin embargo, la estrella fixa mas cerca de nosotros, está tan distante que, á pesar de esta suma velocidad, gastan seis años sus rayos en llegar á nosotros; y si fuese posible que un grande ruido, que saliese de esta estrella, pudiese ser transmitido hasta la Tierra, se pasarian 5.400000 años ántes de llegar á nuestros oidos. Esto solo mira á las estrellas mas brillantes, que son probablemente las mas cercanas: y es verosímil que las mas peque-

ñas están 10 ó mas veces mas distantes. Será, pues, necesario un siglo entero para que estos rayos lleguen á nosotros. ¡ Prodigiosa distancia, que una velocidad de 43750 leguas, no podria correrla sino en 100 años! Si una de estas estrellas se aniquilase, ó solo se eclipsase, no la dexaríamos de ver hasta 100 años despues, porque los últimos rayos que habrian salido de ella, no llegarian á nosotros sino al cabo de este tiempo.

Por lo comun las gentes están muy distantes de tener idéas distintas de la vasta extension del universo, y hay muchos que lo miran como una obra de poca importancia, que hubiera podido producir el solo acaso: pero ¡qué admiracion no debemos tener, al considerar que todos estos cuerpos inmensos están dispuestos con una sabiduría suma, y que quanto mas conocimientos adquirimos sobre esto, aunque imperfectos, tanto mas nos inclinamos á admirar su órden y grandeza! Volviendo á los grandes cuerpos luminosos y en particular al Sol, que es el principal manantial de la luz y calor de que gozamos en la tierra, se preguntará ¿en qué consiste la luz que difunde continuamente el Sol por todo el universo, sin padecer la menor diminucion? No puede ya haber dificultad en responder, siguiendo el sistema que he establecido; pero el de la emanacion no podria satisfacer en ninguna manera. Como todo el universo está lleno del fluido sumamente sutil y elás-

tico llamado éter, es necesario suponer, en todas las partes del Sol, una agitacion continua, mediante la qual, cada partícula se halle siempre en un movimiento de vibracion, que comunicándose al éter circunvecino, excite en él una agitacion semejante, la qual se transmite á las regiones mas distantes con la rapidez que llevamos dicho.

Siguiendo el paralelo entre el sonido y la luz, el Sol estará en un estado semejante al de una campana que sonase continuamente; por lo que es preciso que se mantengan perpetuamente las partículas del Sol, en la agitacion que produce en el éter las undulaciones que llamamos rayos de luz. Aquí se presenta la dificultad de explicar, qué fuerza mantiene constantemente esta agitacion de las partículas del Sol; pues sabemos que una luz no arde largo tiempo, á ménos que no tenga el pábulo de materias combustibles. Sin embargo, debe observarse que el Sol es una masa muchos millares de veces mayor que la Tierra, y, en estando una vez inflamado, podrá permanecer así por muchos siglos sin padecer diminucion: ademas el Sol no es como nuestros fuegos y luces, que disipan una gran parte en humo y exhalaciones, de lo que resulta una pérdida real; ántes si tal vez alguna partícula sale arrojada del Sol en forma de humo, no se aleja mucho, y vuelve al punto á su masa, sin que haya pérdida real que pueda ocasionar diminucion

en su substancia (*a*). Lo único que ignoramos sobre esto, es la fuerza que mantiene en agitacion constantemente las partículas del Sol; pero nada hay que se oponga á la razon, y así como estamos precisados á reconocer nuestra ignorancia en muchas otras cosas ménos distantes que el Sol, debemos contentarnos quando nuestras idéas no contienen nada de repugnante. = A 21 de Junio de 1760.

CARTA 22.

Siendo el Sol un cuerpo luminoso, cuyos rayos se difunden hácia todos lados, V. A. no estará indecisa sobre la causa de este fenómeno maravilloso, que consiste en el temblor ó vibracion de que están agitadas todas las partículas del Sol. El paralelo de una

(*a*) El autor se ve aquí bastante embarazado para explicar la inflamacion continua del Sol; y aunque mas arriba dixo que el sistema de la emanacion repugnaba por el freqüente encuentro de los rayos que partian de diferentes cuerpos luminosos, lo que debia turbar y aun impedir la vision de varios cuerpos á un tiempo, como no ha explicado cómo pueden oirse dos sonidos á un tiempo, se le podria hacer una objecion semejante á su sistema, que es analogo á los fenómenos del sonido.

campana, es muy á propósito para aclararnos este hecho; pero es muy natural que las vibraciones que causan la luz, sean mucho mas vivas y rápidas que las que causan el sonido, porque el éter es sin comparacion mas sutil que el ayre. Así como una agitacion débil no es capaz de conmover el ayre de modo que produzca el sonido, del mismo modo la de una campana y demas cuerpos sonoros, es muy débil respecto de la del éter para producir el temblor que constituye la luz. V. A se acuerda de que, para excitar un sonido sensible, son menester mas de 30, y ménos de 7552 vibraciones por segundo, porque el ayre es tan sutil que no pueden producir un efecto sensible ménos de 30 vibraciones; pero no lo es bastante para recibir mas de 7552 en un segundo, de suerte que un sonido mas agudo se perderia enteramente. Lo mismo sucede con el éter; 7552 vibraciones no pueden obrar en él por ser sumamente sutil: se necesitan vibraciones mucho mas freqüentes. Una agitacion tan rápida no podria verificarse, sino en las menores partículas de los cuerpos, que no perciben nuestros sentidos. La luz del Sol debe pues ser producida por una agitacion, sumamente viva, de todas sus partículas infinitamente pequeñas, cada una de las quales vibrará muchos millares de veces en un segundo. Una agitacion semejante es lo que produce la luz de las estrellas fixas, y de toda

especie de fuego, como el de las velas &c. que nos alumbran y sirven de Sol por la noche. Si V. A. observa la llama de una vela, notará que hay una agitacion singular en las menores partículas; y en esta parte no creo que mi sistema encuentre ninguna contradiccion, siendo así que el de Newton exîge una agitacion enorme, capaz de lanzar las menores partículas con una velocidad de 43750 leguas por segundo.

Vista la explicacion de la naturaleza de los cuerpos luminosos por sí mismos, veamos aquellos cuerpos que no son luminosos inmediatamente como la Luna y los planetas, que son semejantes á nuestro globo. La Luna no la vemos sino quando está iluminada por el Sol, y lo mismo se dice de todos los cuerpos terrestres, si se exceptuan los fuegos que lucen por sí mismos. Todos los cuerpos que se llaman opacos, no son visibles si no están iluminados por algun cuerpo luminoso. En una noche muy obscura, ó en un aposento tan cerrado por todas partes que no pueda entrar luz ninguna, por mas que se fixen los ojos para ver los objetos que están en las tinieblas, nada se percibe; pero en el instante que se trae una vela encendida, no solo se ve la vela, sino los demas cuerpos que estaban ántes invisibles. Esta diferencia entre los cuerpos opacos y luminosos, es muy esencial. En otro lugar he usado ya la palabra *opaco* para denotar los cuerpos que no son

transparentes; pero casi viene á ser lo mismo, y es preciso acomodarse al uso en las palabras, aun quando haya alguna diferencia.

Los cuerpos luminosos son visibles por su propia luz, y nunca conmueven mas nuestro órgano que en las tinieblas mas densas: los que llamo *opacos*, llegan á ser visibles con el auxîlio de la luz de otro cuerpo, y no los percibimos miéntras que están en las tinieblas; pero luego que se exponen á un cuerpo luminoso, de suerte que puedan darle sus rayos inmediatamente, los vemos, y en quitando esta luz extraña, desaparecen. No es necesario que les dén inmediatamente los rayos de un cuerpo luminoso: otro cuerpo opaco, si está bien iluminado, produce el mismo efecto, bien que con mucha mas debilidad, de lo que tenemos exemplo en la Luna. Sabemos que esta es un cuerpo opaco; pero quando el Sol la ilumina, y la vemos por la noche, esparce una luz débil sobre todos los cuerpos opacos, y nos hace visibles los que sin ella no podriamos percibir. Quando por el dia yo estoy en un quarto que mira al Norte, en el qual no pueden entrar los rayos del Sol, sin embargo está claro y puedo distinguirlo todo, ¿quál seria la causa de esta claridad, sino es que el cielo entero está iluminado por el Sol? Lo que llamamos el azul del cielo, y las paredes que están frente á mi quarto, y los demas objetos, están iluminados tambien ó inmediatamente por el

Sol, ó mediatamente por otros cuerpos opacos expuestos á la accion de su luz: de los primeros procede la claridad de mi quarto, la que será mayor segun que las ventanas sean altas, anchas, y estén bien situadas. Los vidrios no le dañan casi nada, porque como lo hemos visto, son cuerpos transparentes, que dan paso á la luz. Quando cierro bien las puertas de mis ventanas, de suerte que la luz de fuera no pueda entrar en mi quarto, me hallo en tinieblas, sin poder ver nada, á ménos que mande traer una luz. Hay, pues, una diferencia esencial entre los cuerpos luminosos y opacos, y una notable semejanza, y es que los cuerpos opacos iluminados, iluminan los demas cuerpos opacos, y producen así casi el mismo efecto que los cuerpos luminosos por sí mismos. La explicacion de este fenómeno ha dado mucho que hacer á los Filósofos hasta ahora; pero me lisonjeo de poder darla á V. A. de un modo claro y convincente. = A 24 de Junio de 1760.

CARTA 23.

Antes de pasar á la explicacion del fenómeno de hacerse visibles los cuerpos opacos quando están iluminados, conviene observar que, en general, nada vemos sino por los rayos que entran en nuestros ojos. Quando vemos un objeto qualquiera, los rayos que salen de cada uno de sus puntos, entran en el ojo, y pintan, por decirlo así, su imágen. La experiencia prueba que esto no es únicamente una conjetura. Para esto se toma un ojo de buey, ó de otro animal acabado de matar; se descubre el fondo, y se ven pintados en él todos los objetos que están delante. Por consiguiente, siempre que vemos algun objeto, está pintada su imágen sobre el fondo de nuestros ojos, por los rayos que vienen del objeto. Mas adelante verá V. A. la explicacion completa de la vision, y cómo se forman en el fondo del ojo las imágenes de los objetos, bastándonos por ahora esta observacion general.

Siendo constante que no vemos los cuerpos opacos sino quando están iluminados, es prueba que de todos sus puntos salen rayos que solo subsisten miéntras dura el estarlo;

y como se desvanecen luego que están en las tinieblas, se sigue que no son propios de los cuerpos opacos, y que debemos buscar su orígen en el modo cómo los demas cuerpos los iluminan. Es una gran qüestion el cómo la iluminacion es capaz de producir rayos sobre los cuerpos opacos, y ponerlos casi en el mismo estado que los cuerpos luminosos, los quales producen rayos en virtud de la agitacion de sus partículas. El gran Newton y los demas Filósofos que han exâminado esta materia, admiten la reflexîon por causa de este fenómeno; por tanto es de suma importancia formar una idea clara de lo que llaman *reflexîon.* Este nombre se da á la repulsion de un cuerpo chocado por otro, como se ve en el juego del billar. Quando la bola da contra la banda de la mesa, sale recudida, y esta mudanza se llama reflexîon. Es conveniente distinguir dos casos. 1°. Suponiendo que AB sea la banda de un billar, quando se tira la bola D perpendicularmente contra ella, en la direccion DC perpendicular á AB, siendo rectos los ángulos ACD, y BCD, en este caso la bola saldrá reflexada por la misma linea DC. 2°. El segundo caso es quando se tira la bola obliquamente al lado, como si se tirase la bola E en la direccion EC, que forma con el lado AB un ángulo agudo ACE, al qual llaman *ángulo de incidencia*: entónces la bola saldrá repelida en la direccion CF, de modo

Fig. 6.

que esta linea formará en la otra parte del lado BC un ángulo BCF, que será igual al ángulo de incidencia ACE. El ángulo BCF que forma la bola al salir, se llama ángulo de reflexîon; y se saca de lo dicho la regla general que siempre el *ángulo de incidencia es igual al de reflexîon.* Esta ley se verifica siempre que un cuerpo encuentra obstáculos en su movimiento, (*a*) de suerte que una bala de cañon disparada contra una muralla bastante fuerte para que no la pueda penetrar, sale reflexa conforme á esta ley: extiéndese tambien al sonido, que muchas veces sale reflexo de ciertos cuerpos, y no ignora V. A. que esta reflexîon es lo que se llama *eco.* No hay, pues, duda alguna en que se verifique tambien en los rayos de luz. La reflexîon de los rayos nos representa los objetos que vemos en los espejos; y siempre que una superficie está bien tersa, reflexa los rayos de luz que dan en ella. Es pues indubitable que, en una infinidad de casos, los rayos que caen sobre ciertos cuerpos, salen reflexados, de donde los Filósofos han tomado motivo para sostener, que vemos los cuerpos opacos por medio de rayos reflexos. Si yo veo ahora las casas que están frente á mi ventana, á las quales ilumina el Sol,

(*a*) Esta proposicion no es general, y solo es cierta quando los cuerpos son elásticos. La experiencia enseña que, en la luz, se verifica exáctamente lo que aquí se dice.

es porque, segun la opinion de estos Filósofos, los rayos del Sol que dan en su superficie, salen reflexos, entran en mi quarto, y me hacen visibles estas casas. Del mismo modo vemos, segun los mismos Filósofos, la Luna y demas planetas, que son, sin duda alguna, cuerpos opacos. Los rayos del Sol que dan en ellos, é iluminan la parte que mira á él, salen reflexados, y llegan á nosotros, del mismo modo que si estos cuerpos fuesen luminosos. Segun esta opinion, vemos la Luna y los planetas por medio de los rayos del Sol que reflexan, y V. A. habrá oido decir muchas veces, que la luz de la Luna es una reflexîon de la del Sol. De este modo pretenden que los rayos del Sol salen reflexados de los cuerpos opacos sobre que dan, y van á caer sobre otros de la misma naturaleza, experimentando una serie de reflexîones semejantes, hasta que se debilitan enteramente. Pero por mas probable que parezca esta opinion á primera vista, quando se exâmina mas de cerca, se ve que encierra tantos absurdos que no se puede sostener absolutamente, como tendré el honor de probarlo á V. A. para presentarle despues la verdadera explicacion de este fenómeno. = A 28 de Junio de 1760.

CARTA 24.

Digo pues, que quando vemos un cuerpo opaco, iluminado por el Sol, es imposible afirmar que reflexa los rayos luminosos, y que por medio de ellos lo vemos. El exemplo de un espejo, que reflexa los rayos sin duda alguna, y de que se valen para probar esta opinion, prueba lo contrario. El espejo envia los rayos que dan en él; pero ¿qué representan estos rayos reflexos quando entran en nuestros ojos? V. A. me responderá al instante que no representan el espejo, sino los objetos de donde saliéron primero; de modo que la reflexîon no hace mas que representarnos los mismos objetos en otro lugar. Así es que no vemos los objetos en la superficie del espejo, sino en lo interior, pudiendo decirse que el espejo permanece invisible. Pero si miramos un cuerpo opaco iluminado por el Sol, no vemos en él la imágen de este astro, sino la superficie del cuerpo y todas las variedades que en él hay; por lo que debemos reconocer una diferencia esencial, entre los rayos que salen reflexos de un espejo, y los que nos hacen ver los cuerpos opacos. Pero aun hay otra

diferencia igualmente palpable en el espejo, y es que si nosotros, ó los objetos, mudan de lugar, la apariencia se muda, y los rayos reflexos del espejo representan continuamente á nuestros ojos, otras imágenes correspondientes á la naturaleza y posicion de los objetos, y al lugar en que estamos colocados; pero como ya he dicho, estos rayos reflexos no nos representan nunca el espejo. Si un cuerpo está iluminado por el Sol, ó por otros cuerpos luminosos ú opacos iluminados, de qualquiera manera que mude de lugar, ó que nosotros lo mudemos respecto de él, la aparicion es siempre la misma, y siempre vemos el mismo objeto, sin notar mudanza alguna que se refiera á las diversas circunstancias dichas: lo que suministra una nueva prueba, de que no vemos los cuerpos opacos, por medio de los rayos que se reflexan en su superficie. Bien veo que se me hará una objecion sacada del iris de las palomas y de ciertos texidos, que nos presentan objetos diferentes, segun que se muda nuestro punto de vista; pero esto no se opone á la conseqüencia que he sacado de los cuerpos opacos, los quales no padecen esta mudanza. Lo que semejante objecion prueba es, que aquellos objetos singulares tienen ciertas qualidades, como por exemplo, que sus partículas están muy tersas, y que hay una verdadera reflexîon ademas del modo ordinario y comun cómo los cuerpos se nos hacen vi-

sibles. Se ve fácilmente, que esta reflexion debe distinguirse con cuidado, del modo cómo están iluminados los cuerpos opacos. Finalmente los rayos reflexos que salen de un espejo, nos representan los colores de los cuerpos de donde provienen, y el espejo no muda nada en ellos. Un cuerpo opaco, iluminado por otro qualquiera, siempre nos presenta los mismos colores; y se puede decir, que cada cuerpo tiene su color propio. Esta circunstancia trastorna enteramente la opinion de los que pretenden, que vemos los cuerpos opacos por medio de los rayos que reflexa su superficie. Juntando ahora todas las razones que he explicado á V. A, no dudará que semejante opinion no puede sostenerse, de ningun modo, en la Filosofía, ó por mejor decir en la Física. Sin embargo, no me lisonjeo de que los Filósofos, una vez adictos á sus opiniones, se rindan á mis razones; pero los Físicos, que están unidos mas estrechamente con los Matemáticos, encuentran ménos dificultad en mudar de opinion al ver razones tan poderosas. V. A. se acordará aquí otra vez de lo que decia Ciceron; que no hay cosa, por absurda que sea, que no la haya defendido algun Filósofo. Efectivamente, por extraño que parezca á V. A. el sistema que acabo de refutar, se ha sostenido y defendido con grande ahinco hasta ahora. No puede decirse que los partidarios de este sistema, ignoraban los

inconvenientes y contradicciones que acabo de exponer á V. A. porque el mismo Newton los conoció; pero como se detuvo en una idéa tan rara sobre lo propagacion de la luz, no es de admirar que no se haya parado en estas grandes dificultades; y en general, la fuerza del ingenio no es un impedimento para caer en absurdos, por sostener la opinion que se ha abrazado.

Los partidarios de Newton, preguntan ahora ¿si el sistema de que se ven los cuerpos opacos por medio de los rayos reflexos, es falso, ¿quál es el verdadero? Y les parece imposible imaginar otra explicacion de este fenómeno, siendo dificil y vergonzoso á un Filósofo, el confesar su ignorancia sobre una materia qualquiera, prefiriendo sostener los mayores absurdos, sobre todo quando posée el secreto de envolverlos en términos tan obscuros, que nadie pueda entenderlos: porque entónces el vulgo cree que estas obscuridades son luminosas para los sabios, y los admira mas. A lo ménos es menester desconfiar, quando se alaban de conocimientos tan sublimes, que ellos no pueden hacerlos inteligibles. Yo espero explicar á V. A. el fenómeno de que se trata, de modo que V. A. no encuentre nada dificultoso. = A 1.º de Julio de 1760.

CARTA 25.

Todos los fenómenos de los cuerpos opacos que he expuesto en la carta antecedente, prueban evidentemente, que quando vemos un cuerpo iluminado, no lo vemos porque salgan reflexos los rayos de su superficie, sino porque sus moléculas están en una agitacion semejante á la de las partículas de los cuerpos luminosos, con la diferencia que en los cuerpos opacos no es tan fuerte la agitacion como en los luminosos, visto que un cuerpo opaco, por mas iluminado que esté, jamas hace en el ojo una impresion tan viva como los cuerpos luminosos. Una vez que vemos los cuerpos opacos, y no las imágenes de los luminosos que los iluminan, como deberia suceder si los viésemos por la reflexîon de su superficie; es preciso que los rayos que nos envian los cuerpos opacos les sean propios, como los rayos de un cuerpo luminoso lo son. Por consiguiente, quando está iluminado un cuerpo opaco, las partículas de su superficie están en una agitacion conveniente, para producir en el éter el movimiento de vibracion necesario para formar rayos, y pintar en nuestros

ojos la imágen del cuerpo de que salen. Para esto, es menester que de cada punto de la superficie salgan rayos hácia todas partes, lo que se confirma con la experiencia; porque de qualquier lado que mirémos un cuerpo opaco, vemos igualmente todos sus puntos: de donde se sigue, que cada punto envia rayos hácia todas partes. Esta circunstancia distingue esencialmente estos rayos de los reflexos, cuya direccion está siempre determinada por la de los rayos incidentes, de manera que si estos vienen de un solo lugar, como del Sol, los rayos reflexos siguen una sola direccion. Vemos, pues, que luego que un cuerpo opaco está iluminado, todas las partículas de su superficie están en una agitacion que produce rayos, como sucede en los cuerpos luminosos por sí mismos. Esta agitacion es tanto mas fuerte, quanto mas intensa es la luz que le ilumina; por eso un mismo cuerpo expuesto al Sol, está mucho mas vivamente agitado, que si estuviese iluminado por la claridad en un quarto, ó si por la noche recibiese la luz de una vela ó de la Luna. En el primer caso, se pinta su imágen con mucha mas viveza en el fondo del ojo que en los demas, y sobre todo en el último, en que la luz de la Luna apénas es suficiente para leer letras gordas: si se transporta el cuerpo opaco á un quarto obscuro, ó á las tinieblas, no se le ve; lo que es prueba segura de que la agitacion de sus

partes ha cesado enteramente, y se encuentran en reposo. La naturaleza de los cuerpos opacos consiste pues, en que sus partículas están en reposo, ó á lo ménos destituidas de la agitacion necesaria para dar la luz; pero estas mismas partículas tienen tal disposicion, que quando están iluminadas, ó que vienen á dar en ellas los rayos luminosos, toman cierto movimiento de vibracion, propio para producir la luz; agitacion que es tanto mas fuerte, quanto mas viva es la luz que ilumina los cuerpos. Miéntras que un cuerpo opaco está iluminado, se encuentra en el mismo estado que los cuerpos luminosos: sus partículas están agitadas del mismo modo, y son capaces de excitar rayos en el éter, con la diferencia que la agitacion de los cuerpos luminosos, mantenida por una fuerza intrinseca, permanece siempre por sí misma, quando la de los cuerpos opacos es momentanea y producida por el movimiento de la luz que los ilumina. Esta explicacion satisface á todos los fenómenos, sin estar sujeta á ninguno de los inconvenientes, que nos han hecho abandonar la otra, fundada en la reflexîon. El que quiera pesar estas razones convendrá en esto; pero aun nos queda una gran dificultad, y es explicar cómo la iluminacion por sí sola, puede agitar las partículas de un cuerpo de un modo capaz de producir rayos, y cómo la agitacion permanece siempre la misma, aun-

que la iluminacion sea diferente. Confieso que si no se pudiese responder á esta pregunta, seria un gran defecto de mi teoría, aunque no por eso quedaria destruida, porque no hay en ella nada que repugne. Si yo ignorase el cómo produce la iluminacion, una agitacion en las partículas de los cuerpos opacos, esto solo probaria que mi teoría era imperfecta; pero si no se puede demostrar la imposibilidad absoluta de que la iluminacion produzca este efecto, mi sistema podrá subsistir. No obstante, voy á remediar á este inconveniente, manifestando á V. A. cómo la iluminacion agita las partículas imperceptibles de los cuerpos. = A 5 de Julio de 1760.

CARTA 26.

Prometí á V. A. explicar, cómo la iluminacion de un cuerpo opaco, debe producir en sus moléculas, una agitacion capaz de excitar rayos de luz, que lo hacen visible. El paralelo entre el sonido y la luz, que no difieren sino en el mas ó ménos, por ser la luz respecto del éter lo mismo que el sonido respecto del ayre, me servirá para cumplir mi promesa. Los cuerpos luminosos

deben compararse á instrumentos músicos que están en vibracion actual: para lo que es indiferente que esta sea efecto de una fuerza intrinseca ó extrinseca, bastando que resuenen. Los cuerpos opacos, miéntras no están iluminados, deben compararse á instrumentos de música sin accion, ó á cuerdas tensas, que no están tocadas, y por consiguiente no suenan. Trasladada pues nuestra qüestion, de la luz al sonido, todo se reduce á preguntar, si una cuerda tensa y en reposo, hallándose en la esfera de actividad del sonido de los instrumentos puestos en vibracion, puede recibir alguna agitacion, en ciertas circunstancias, y sonar sin ser tocada? La experiencia lo confirma diariamente. Si V. A. quisiere exâminar una cuerda tensa durante un concierto, reparará que tiembla muchas veces sin haberla tocado, y da el mismo sonido, que si la hubiesen puesto en vibracion inmediatamente. Este experimento sale mejor si los instrumentos dan el mismo sonido que la cuerda. Considere V. A. atentamente las cuerdas de un clave que nadie toca, miéntras que un violin da, por exemplo, el sonido *a*; y notará, que en el clave, la cuerda del mismo sonido empezará á temblar sensiblemente, y aun sonará sin haberla tocado: algunas otras cuerdas se agitarán tambien, particularmente las que están en octava, quinta, y aun tercera, con tal que el instrumento esté bien templado. Los Músicos conocen

este fenómeno, y Mr. Rameau, célebre compositor Frances, ha fundado en él sus principios de harmonía; pretendiendo que las octavas, quintas y terceras, deben mirarse como consonancias, porque una cuerda es agitada por el solo sonido de otra que está unísona, en octava, quinta ó tercera menor. No obstante, es preciso confesar que los principios de la harmonía están tan bien fundados en la sencillez de las razones que tienen entre sí los sonidos, que no necesitan nueva confirmacion. Con efecto, el fenómeno que observó Mr. Rameau es una conseqüencia muy natural de los principios de la harmonía. Para aclarar esto, considerémos dos cuerdas que están unísonas: si se toca una de ellas, la otra empezará á temblar por sí misma, y sonará. La razon es muy clara; porque como una cuerda quando tiembla, comunica al ayre un movimiento de vibracion semejante al suyo, el ayre agitado reciprocamente debe hacer temblar la cuerda, siempre que por su tension sea capaz de este movimiento. El ayre puesto en vibracion, choca un poco contra la cuerda; y la reiteracion de los choques, imprime luego á la cuerda un movimiento perceptible; siendo su tension tal, que las vibraciones de que es capaz, son semejantes á las del ayre. Si el número de vibraciones del ayre es la mitad ó el tercio, ó en otra razon sencilla, la cuerda no recibe un nuevo impulso en

cada vibracion, como en el caso precedente, sino solo en la segunda, tercera ó quarta, lo que aumentará su temblor; pero ménos que en el primer caso. Pero si las vibraciones del ayre no tienen razon sencilla ninguna con la que conviene á la cuerda, la agitacion de aquel fluido no produce ningun efecto en ella; porque las vibraciones de la cuerda, en caso que las haya, no se encuentran con las del ayre, y los impulsos siguientes de este fluido destruyen casi todo el efecto que los primeros habian producido; lo qual está confirmado por la experiencia. Por consiguiente, quando un sonido conmueve una cuerda, para que esto sea sensible, es menester que el sonido sea precisamente el mismo que el de la cuerda. Qualesquiera otros sonidos que tengan consonancia con el de la cuerda, producirán un efecto semejante, pero ménos sensible, y las disonancias no producirán ninguno. Este fenómeno se verifica no solo en las cuerdas, sino tambien en todos los cuerpos sonoros. Una campana resonará por solo el ruido de otra que esté con ella en el unísono, en octava, quinta ó tercera. El exemplo de aquel que quebraba los vasos de un grito, confirma lo que llevo dicho. Luego que le presentaban un vaso, lo tocaba para ver que sonido daba; despues gritaba en unísono, y el vaso se ponia al instante en vibracion: entónces daba á su voz toda la fuerza que

podia, conservando siempre el unísono, con lo qual las vibraciones del vaso llegaban á ser tan grandes que se quebraba al punto. La experiencia pues confirma que una cuerda, y qualquier otro cuerpo sonoro, se pone en vibracion por un sonido consonante: este mismo fenómeno debe verificarse en los cuerpos opacos, cuyas moléculas puedan ser conmovidas por la iluminacion. Esta es la qüestion que me habia propuesto resolver, de que daré la explicacion mas á la larga en mi primera carta. = A 2 de Julio de 1760.

CARTA 27.

Despues de lo que llevo expuesto, V. A. no extrañará que un cuerpo opaco pueda recibir, por sola la iluminacion, una agitacion en sus partículas semejante á la de los cuerpos luminosos, que les dé la propiedad de producir rayos que los hagan visibles: con lo qual hemos superado este grande obstáculo que parecia oponerse á mi explicacion de la visibilidad de los cuerpos opacos, siendo así que la que está fundada en la reflexîon de los rayos, encuentra tanta mas dificultad, quanto se quiere aplicar mas directamente á los fenómenos conocidos. Podemos,

pues, mirar como una verdad bien probada, que las partículas de las superficies de todos los cuerpos que vemos, están en una agitacion semejante á la de una cuerda puesta en vibracion, solo que su movimiento es mas rápido, sea que esta agitacion proceda de una fuerza intrínseca como en los cuerpos luminosos por sí mismos, sea que la produzcan los rayos de luz que dan en los cuerpos, esto es, la iluminacion, como sucede en los cuerpos opacos. Es pues falso que la Luna, como cuerpo opaco, reflexa los rayos del Sol, y que la vemos por medio de esta luz reflexa, como se cree comunmente; lo que sucede es que los rayos del Sol que dan en la superficie de la Luna, excitan en sus partículas la vibracion, de que resultan los rayos de la Luna que entran en nuestros ojos, y pintan su imágen. Lo mismo decimos de los demas planetas y de todos los cuerpos opacos. La agitacion de estos cuerpos opacos quando están iluminados, no dura mas que la iluminacion que la causa, y luego que un cuerpo opaco dexa de estar iluminado, no lo vemos. ¿Pero no pudiera suceder que una vez comunicada esta agitacion á las partículas de un cuerpo opaco, se conservase por algun tiempo, así como vemos que en tocando una cuerda, continúa temblando aunque no se la vuelva á tocar? A mí me parece innegable: y creo que pueden servir de exemplo las substancias que Mr.

Margraff ha presentado á V. A. las quales una vez iluminadas conservan la luz por largo tiempo, aun quando se llevan á un aposento obscuro. No obstante, este es un caso particular, y en los demas cuerpos la agitacion de las moléculas se desvanece al mismo tiempo que la iluminacion que la habia causado. Esta explicacion, en que hasta ahora no hay obstáculo, me guia á indagar cosas mas importantes. No hay duda en que hay una diferencia infinita entre las partículas de los cuerpos opacos, segun la variedad de ellos: por lo que unos serán capaces de vibracion, otros lo serán ménos, y otros finalmente no lo serán nada. Esta diferencia se ve evidentemente en los cuerpos: este, cuyas partículas reciben fácilmente la impresion de los rayos que dan en él, nos parece brillante: aquel, al contrario, en que los rayos no causan casi agitacion ninguna, no nos parece luminoso. V. A. notará que entre varios cuerpos iluminados, los unos son mucho mas brillantes que los otros. Ademas de esto, debe haber otra diferencia muy notable entre las partículas de los cuerpos opacos, respecto del número de vibraciones que cada una hará en un tiempo determinado. Ya hemos observado que este número debe ser muy grande, y que la sutileza del éter requiere muchos millares de vibraciones en un segundo. Pero la diferencia puede ser notable, si por exemplo, algunas partículas hacen 10000

vibraciones en un segundo, y otras 11000, 12000, 13000, segun la pequeñez, la tension y elasticidad de cada una, como sucede en las cuerdas sonoras, en que el número de vibraciones que hacen en un segundo, puede variar al infinito; de lo qual he deducido la diferencia entre los sonidos graves y agudos. Como esta diferencia es esencial en los sonidos, percibiéndola el oido de un modo tan particular, que la teoría de la Música estriba en ella; es claro que una diferencia semejante en la freqüencia de las vibraciones de los rayos de luz, producirá un efecto particular en la vision. Por exemplo, si una partícula hace 10000 vibraciones en un segundo, y produce rayos de una misma especie, los que entren en el ojo, conmoverán los nervios que hay en él, 10000 veces en un segundo: este efecto, y la sensacion, serán enteramente diferentes, de los que producirá una partícula que haga mas ó ménos vibraciones en el mismo tiempo; y habrá en la vision una diferencia semejante á la que percibe el oido quando oye sonidos graves y agudos. V. A. desea sin duda saber á qué se reduce esta diferencia en la vision, y quáles son las diversas sensaciones correspondientes al mayor ó menor número de vibraciones, producido en cada cuerpo, durante un segundo. Esta diferencia causa la diversidad *de los colores*, siendo estos, respecto del órgano de la vista, lo que los so-

nidos graves y agudos respecto del oido. Hemos pues resuelto, sin pensarlo, la importante qüestion sobre la naturaleza de los colores, que en todos tiempos ha ocupado la atencion de los mayores Filósofos. Unos han dicho que eran una modificacion de la luz que no conociamos: Descártes pretende que los colores son una mezcla de luz y sombra: Newton busca la causa en los rayos del Sol, los que cree son emanaciones reales, y que su materia puede ser mas ó ménos sutil: de lo que infiere que hay rayos de varios colores, como roxos, amarillos, verdes, azules, violados &c. Pero como este sistema no puede subsistir, todo lo que se ha dicho sobre los colores no nos enseña nada; y V. A. concibe claramente que la naturaleza de cada color consiste en el número de vibraciones que hacen, en cierto tiempo, las partículas que nos los presentan. = A 12 de Julio de 1760.

CARTA 28.

La ignorancia de la verdadera naturaleza de los colores ha suscitado siempre grandes disputas entre los Filósofos: y cada uno ha procurado distinguirse con alguna opinion par-

ticular sobre esta materia. El sistema de hacer residir los colores en los cuerpos mismos, les pareció demasiado comun, y poco digno de un Filósofo, que siempre debe distinguirse del vulgo. Como el hombre del campo cree que un cuerpo es roxo, el otro azul y el otro verde, el Filósofo no tiene mejor medio de distinguirse que sostener lo contrario, y así dice que los colores no tienen realidad ninguna, y que en los cuerpos no hay nada que tenga relacion con ellos. Los Newtonianos dicen que los colores exîsten únicamente en los rayos, los quales son roxos, amarillos, verdes, azules y violados, y que un cuerpo nos parece de tal ó tal color, quando reflexa los rayos de esta especie. Otros á quienes esta opinion parece muy tosca, pretenden que los colores exîsten en nosotros mismos. Este es un medio excelente de ocultar la ignorancia, porque sino el vulgo creeria que el sabio no conocia la naturaleza de los colores mejor que él. Pero V. A. concibe claramente que todas estas sutilezas aparentes no son mas que subterfugios. Cada color simple, depende de cierto número de vibraciones que se hacen en cierto tiempo, de suerte que un número determina el color roxo, otro el amarillo, otro el verde, otro el azul, y otro el violado, que son los colores simples que nos representa el arco iris. De donde se infiere que si las partículas de la superficie de algunos

cuerpos están dispuestas de manera, que en estando agitados, den en un segundo el número de vibraciones necesario para producir, por exemplo, el color roxo, llamaré roxo á aquel cuerpo, como lo hace el rústico, y no veo ningun motivo para separarme del modo de hablar recibido. Los rayos que efectuan este número de vibraciones en un segundo, podrán llamarse con la misma razon rayos roxos; y quando estos mismos rayos obran en el nervio óptico, recibiendo este un número de impulsos casi igual en un segundo, entónces tenemos la sensacion del color roxo. Todo está aquí claro, y no veo la necesidad de introducir frases obscuras y misteriosas, que en substancia para nada sirven. El paralelo entre el sonido y la luz es tan exâcto, que satisface aun en las menores circunstancias. Quando cité aquel fenómeno de una cuerda tensa que puede ponerse en vibracion, por la sola resonancia de algunos sonidos, se acordará V. A. de que el que daba el unísono de la cuerda, es el mas á propósito para conmoverla, y que los demas sonidos no producen efecto ninguno, á ménos que formen consonancia con ella. Lo mismo sucede puntualmente con la luz y los colores; pues estos corresponden á los sonidos de la Música. Para manifestar éste fenómeno que confirma mi asercion, se prepara un aposento obscuro; se hace un agujerillo en una puerta ventana, de-

lante del qual se coloca á alguna distancia un cuerpo de qualquier color, como un pedazo de paño roxo, de modo que quando esté bien iluminado, entren sus rayos por el agujero en el aposento. Habiendo pues impedido la entrada á la luz por todas partes, solo entrarán rayos roxos: si dentro del aposento se pone en frente del agujero un pedazo de paño del mismo color, se verá perfectamente iluminado, y su color roxo aparecerá brillante: pero si en su lugar ponemos un pedazo de paño verde, permanecerá obscuro, y no se verá casi su color. Si se pone fuera del aposento, delante del agujero, un pedazo de paño verde, el del aposento estará perfectamente iluminado por los rayos del primero, y su color verde aparecerá muy vivo. Lo mismo sucede con todos los demas colores; por lo que creo que no puede exîgirse prueba mas patente de mi sistema. Por donde vemos que para iluminar un cuerpo de cierto color, es necesario que los rayos que dan en él tengan el mismo color, porque los otros no son capaces de agitar las partículas de aquel cuerpo: lo que se verifica con un experimento muy comun. V. A. sabe que la llama del espíritu de vino es azul, ó que solo produce rayos azules; por eso quando en un aposento se enciende espíritu de vino, todas las personas que allí se hallan, parecen pálidas y moribundas, por mas colorados que estén. La

razon es evidente: como los rayos azules no son capaces de excitar ó conmover el color roxo del rostro, no se ve mas que un color débil tirante á azul; pero si alguno tiene un vestido azul, parecerá sumamente brillante. Los rayos del Sol y los de una vela iluminan todos los cuerpos casi igualmente; de lo qual se infiere que los rayos del Sol contienen todos los colores aunque parecen algo amarillos. En efecto, si se hacen entrar en un quarto obscuro rayos de todos los colores simples, como roxos, amarillos, verdes, azules y violados, casi en igual cantidad, y se les reune, representan un color blanquizco. De donde se sigue que el color blanco no es simple, sino una mezcla de todos los colores simples: por eso vemos que el blanco es apto para recibirlos todos. Por lo que toca al negro, no es propiamente color. Todo cuerpo es negro quando sus partículas son incapaces de recibir ningun movimiento de vibracion, ó bien que no produce rayos ningunos. Por consiguiente, la falta de rayos origina la sensacion de este color; y quantas mas partículas incapaces de movimiento de vibracion hay en la superficie de un cuerpo, tanto mas obscuro y negruzco parece. = A 15 de Julio de 1760.

CARTA 29.

Ya hemos visto que hay cuerpos como el vidrio, el agua, y particularmente el ayre, que transmiten los rayos de luz, por cuya propiedad se llaman pelúcidos ó diáfanos. El medio en que se forman los rayos de luz, á que pertenece mas íntimamente esta propiedad, es el éter; y no están dotadas de ella las demas materias sino por causa del éter que contienen, con el que están de tal manera mezcladas, que las agitaciones que excita en ella la luz, pueden comunicarse mas léjos sin impedimento. No obstante, esta transmision no se hace nunca con tanta libertad como en el éter puro, y siempre se pierde algo, á proporcion que el cuerpo transparente es mas grueso, el que puede llegar á serlo tanto que se pierda toda la luz, en cuyo caso el cuerpo dexa de ser transparente. De este modo aunque el vidrio es transparente, un pedazo de él, de algunos pies de grueso, no lo es. Del mismo modo, por pura que sea el agua de un rio, no se puede ver el fondo en el parage en que está muy profundo, aunque se ve muy bien donde lo está poco. La transpa-

rencia pues, es una propiedad de los cuerpos, relativa á su grueso: de manera que quando se atribuye esta propiedad al vidrio, agua &c. debe siempre entenderse con la restriccion de que no sean muy gruesos, habiendo para cada especie una cierta medida del grueso, pasada la qual el cuerpo dexa de ser transparente. Al contrario, no hay cuerpo opaco que no llegue á ser transparente si se le reduce á una hoja sumamente delgada; de suerte que aunque el oro no es transparente, las hojas de este metal lo son; y mirando con un microscopio las partículas pequeñísimas de los cuerpos, se les encuentra transparentes. Podria pues decirse que todos los cuerpos son transparentes, quando son muy delgados, y que ninguno lo es quando es demasiado grueso. Segun el modo comun de hablar, se llaman transparentes los cuerpos que conservan esta qualidad hasta un cierto grado de grueso, aunque la pierdan pasado este término. Por lo que toca al éter, es por su naturaleza perfectamente transparente, y su extension no disminuye nada á esta propiedad. La prodigiosa distancia de las estrellas fixas no impide que sus rayos se transmitan hasta nosotros: pero aunque el ayre parece de una transparencia perfecta, si se extendiese hasta la Luna, la perderia enteramente sin que pudiese penetrar hastá nosotros, ningun rayo del Sol y demas cuerpos celestes, y

nos hallariamos entónces en el caso de las tinieblas Cimerias. La razon es evidente; y lo mismo vemos en el sonido cuya semejanza con la luz se confirma por todas partes. El ayre es el medio mas propio para la propagacion del sonido; pero las agitaciones excitadas en el ayre pueden conmover tambien las partículas de todos los cuerpos, las que poniendo en movimiento las partículas interiores, transmiten las vibraciones al traves de todos los cuerpos, á ménos que sean muy gruesos. Hay pues cuerpos que son relativamente al sonido, lo que los cuerpos transparentes respecto de la luz; y todos los cuerpos tienen esta propiedad respecto del sonido, sino son muy gruesos. Quando V. A. está en su aposento, oye todo lo que pasa en la antecámara, aunque estén bien cerradas las puertas; porque la agitacion del ayre de la antecámara se comunica á las paredes, y penetra por ellas al aposento, bienque con alguna pérdida. Si se quitasen las paredes oiria sin duda V. A. mas distintamente. Quanto mas gruesas son las paredes, tanto mas pierde de su fuerza el sonido al atravesarlas, y pueden llegar á serlo tanto que no se oiga nada de lo que pasa afuera, á ménos que sea un ruido terrible, como un cañonazo. Esto nos guia á observar, que los sonidos muy fuertes pueden oirse al traves de las paredes, que son impenetrables á otros mas débiles; y por consiguiente, para juz-

gar si una pared es capaz de transmitir los sonidos, no basta atender á su grueso, sino que es necesario tambien contar con la fuerza del sonido. Si es muy débil, una pared muy delgada será capaz de detenerlo, siendo así que hubiera podido transmitir un sonido mas fuerte. Lo mismo sucede con los cuerpos que no son penetrables sino por una luz muy fuerte. Al traves de un vidrio, que se ha ennegrecido con el humo, no se ven objetos poco brillantes; pero lo penetran con facilidad los rayos del Sol, y transmite perfectamente la imágen de aquel astro. De este medio se valen los Astrónomos para observarlo, sin cuya precaucion deslumbraria enteramente los ojos. Quando está uno en un aposento obscuro, y hay un agujero en la hoja de la ventana por la parte del Sol, por mas que se tape con la mano, la luz del Sol la penetra. Sin embargo, se echa de ver que la luz del Sol pierde mucho de su resplandor, al pasar por un cuerpo que no es transparente relativamente á otros objetos. Una luz muy fuerte puede perder mucho de su brillo ántes que llegue á apagarse enteramente, miéntras que una luz mas débil se desvanece desde luego: por lo que un pedazo de vidrio muy grueso, no será transparente respecto de objetos poco relucientes; pero se podrá ver el Sol al traves de él. Estas advertencias acerca de los cuerpos transparentes me llevan á la teoría de la refrac-

cion, de que V. A. ha oido hablar muchas veces, y que procuraré explicar con la mayor claridad. = A 18 de Julio de 1760.

CARTA 30.

Miéntras que la luz se mueve en un mismo medio, sea el éter, el ayre, ú otro qualquier cuerpo transparente, se propaga en líneas rectas, que se llaman rayos, porque salen del punto luminoso hácia todas partes, como los rayos de un círculo ó de un globo salen del centro. En el sistema de la emanacion, las partículas despedidas por los cuerpos luminosos se mueven en lineas rectas; y lo mismo sucede en el que he tenido el honor de exponer á V. A., en el qual las agitaciones se comunican del mismo modo que el sonido de una campana se transmite en una linea recta, por la que juzgamos de qué lado viene el sonido. En uno y otro sistema están, pues, representados los rayos por lineas rectas, siempre que atraviesen un mismo medio; pero quando pasen de un medio á otro, pueden padecer alguna inflexîon, y esto es lo que llaman *refraccion* de los rayos de luz, que es importantísimo conocer para dar razon de una infinidad de fenó-

menos. Paso pues á explicar á V. A. las leyes que guarda la refraccion.

Fig. 7. Es una ley constante que quando un rayo como EC cae perpendicularmente sobre la superficie AB de otro medio, continúa su camino en la misma linea recta prolongada como CF; en cuyo caso no padece ninguna inflexîon ni refraccion. Por consiguiente, si EC es un rayo de Sol que da perpendicularmente en la superficie AB del agua ó del vidrio, entrará en esta misma direccion, y continuará su camino siguiendo la linea CF, que es tambien perpendicular á la superficie AB, de suerte que EF sea una misma linea recta. Este caso es el único en que no hay refraccion; pero siempre que un rayo no cae perpendicular á la superficie de un cuerpo transparente, no continúa su camino por la misma linea recta, sino que se desvia mas ó ménos, y padece refraccion.

Fig. 7. Sea PC un rayo que cae obliquamente sobre la superficie AB de otro medio transparente: al entrar en este medio no continuará su camino por la linea recta CQ, que es la prolongacion de PC, sino que se desviará de ella, y seguirá la linea CR, ó CS. Por consiguiente, padecerá en C una inflexîon que se llama *refraccion*, la qual depende en parte de la diversidad de los dos medios, y en parte de la obliquidad del rayo PC. Para explicar las leyes de la refraccion es menester conocer algunos térmi-

nos que usan los que tratan de estas materias. 1.° La superficie AB que separa los dos medios, el de dónde viene el rayo y dónde entra, se llama *superficie refrangente* : 2.° el rayo PC que da en ella, se llama *rayo incidente* : 3.° el rayo CR ó CS que en el otro medio sigue camino diferente de CQ, se llama *rayo refracto.* Habiendo tirado la linea ECF perpendicular á AB se llama 4.° *ángulo de incidencia* el ángulo PCE que forma el rayo incidente PC con la linea perpendicular EC ; y 5.° *ángulo de refraccion*, el ángulo RCF ó SCF que forma el rayo refracto CR ó CS con la perpendicular CF. Es claro que por causa de la inflexîon que padece el rayo de luz , el ángulo de refraccion no es igual al ángulo de incidencia PCE ; porque si se prolonga la linea PC hácia Q , los ángulos PCE , y FCQ están opuestos al vértice , y por consiguiente son iguales entre sí , como V. A. sabe. Luego el ángulo QCF es igual al ángulo de incidencia PCE , y el ángulo de refraccion RCF ó SCF será mayor ó menor que aquel. No son pues mas de dos los casos que pueden verificarse: el uno quando el rayo refracto es CR , y el ángulo de refraccion RCF es menor que el ángulo de incidencia PCE ; y el otro quando es CS el rayo refracto , y el ángulo de refraccion SCF es mayor que el ángulo de incidencia PCE. En el primer caso se dice que el rayo CR se acerca á

la perpendicular CF, y en el segundo que el rayo refracto CS se aleja de ella. Debemos pues exâminar en qué caso se verifica una ú otra de estas mudanzas, y verémos que este fenómeno depende de la diferencia de densidad de los dos medios, ó de que los rayos pasen mas ó ménos fácilmente al traves de cada uno de ellos. Para probarlo, conviene observar, que el éter es el medio mas raro, al traves del qual pasan los rayos sin ninguna dificultad: los demas medios transparentes mas comunes siguen este órden, el ayre, el agua y el vidrio; de suerte que el vidrio es un medio mas denso que el agua; esta lo es mas que el ayre, y este mas que el éter. Sentado esto, no hay que hacer mas que observar estas dos reglas generales: 1.ª Quando los rayos pasan de un medio ménos denso á otro que lo es mas, el rayo refracto se acerca á la perpendicular: este es el caso en que siendo PC el rayo incidente, será CR el refracto. 2.ª Quando los rayos pasan de un medio mas denso á otro que lo es ménos, el rayo refracto se aleja de la perpendicular: este es el caso en que siendo PC el rayo incidente será CS el rayo refracto. Esta inflexîon es tanto mayor, quanto mas diferente es la densidad de los dos medios; de manera que al pasar los rayos del ayre al vidrio, padecen mayor refraccion que al pasar del ayre al agua, sin embargo de que en ámbos casos

los rayos refractos se acercan á la perpendicular. Del mismo modo, al pasar los rayos del vidrio al ayre, padecen mayor refraccion, que al pasar del agua al ayre, en cuyos dos casos el rayo refracto se aleja de la perpendicular. Finalmente debe observarse que la diferencia entre el ángulo de incidencia y el de refraccion es mayor á proporcion que lo es el primero, ó que quanto mas se aparte de la perpendicular el rayo de incidencia, tanto mayor será la inflexîon ó refraccion del rayo. Entre estos ángulos reyna una razon que determina la Geometría; pero no creo necesario detenerme en ello, bastando lo que llevo dicho para la inteligencia de lo que tengo de exponer á V. A. = A 22 de Julio de 1760.

ADICION

Los rayos de luz que pasan de un medio á otro, como del ayre al agua, al vidrio &c. ó al contrario, se refrangen ó mudan de direccion.

Si el rayo de luz pasa de un medio á otro mas denso, el ángulo de refraccion es menor que el de incidencia, ó el rayo refracto se acerca á la perpendicular. Lo contrario sucede si el rayo de luz pasa de un medio á otro ménos denso.

Estos dos ángulos de incidencia y refraccion están siempre en una razon constante;

de manera que si la luz pasa del ayre al agua, el seno de incidencia está con el seno de refraccion en la razon de 4 á 3; ó lo que es lo mismo el seno de refraccion es los $\frac{3}{4}$ del seno de incidencia. Si la luz pasa del ayre al vidrio, esta razon es como 31 á 20. Parece que miéntras mas densos son los medios refrangentes, mas se refrange la luz al pasar á ellos desde otro medio respectivamente ménos denso. Quando el ángulo de incidencia es muy obliquo, la refraccion no se verifica, y el rayo sale reflexo. Este ángulo es diferente en el agua, en el cristal &c.

Esta propiedad de la luz de refrangirse acercándose el rayo á la perpendicular, es contraria á la que observamos en otros cuerpos. Si una bala, por exemplo, pasa con cierta velocidad del ayre al agua, no se acerca á la perpendicular, como sucede en la luz, sino que se aleja. Esto procede de que la bala encuentra cierta resistencia al entrar en el agua, y padece un choque obliquo, que le hace mudar su direccion. Esta refraccion de los cuerpos depende de la obliquidad del movimiento, del tamaño y velocidad del cuerpo, y de la densidad del fluido en que entra. En la luz, parece que solo hay que atender á la densidad del medio refrangente, pues todo lo demas no varía, siendo uno mismo el ángulo de incidencia. Si la resistencia del medio refrangente

produxera, de qualquier modo, este efecto, se podria decir que resistia ménos el medio en que el rayo de luz se apartaba ménos de su direccion primitiva; pero este desvio podria ser tanto acercándose á la perpendicular, como apartándose de ella. El Sr. *Brisson*, dice: *de ordinario, los cuerpos mas densos son los que parecen resistir ménos á la accion de la luz, y hacer el ángulo de refraccion mas pequeño que el de incidencia* (a). Esto no es exâcto, ó no significa nada.

Ahora se pregunta ¿quál es la causa de la refraccion de la luz? Ya se ha visto que no puede explicarse, por lo que se observa en los cuerpos grandes que entran en un fluido. La mejor explicacion que tenemos es la de Newton, fundada en la atraccion universal, ó en aquella atraccion que hay entre todas las partes de la materia. Quando el rayo de luz se acerca al cuerpo refrangente, la atraccion de este obra en ella, y la hace mudar de direccion: quanto mas denso es el cuerpo, tanto mas obra la atraccion, y mayor es la refraccion. Por la misma razon, si el rayo de luz pasa de un medio á otro ménos denso, la atraccion del primero será mayor, y el rayo refracto se apartará de la perpendicular.

(a) Traité elementaire, ou principes de Physique 1797. Tom. II pág. 235.

De esta manera explica Newton la refraccion de la luz, y de la misma la explican los Físicos. Yo no sé si, siendo la velocidad de la luz tan grande como es, la atraccion del medio refrangente será suficiente para mudar su direccion: ademas que se supone que la luz emana de los cuerpos luminosos, lo que no está demostrado. A mí me parece que es necesario conocer aun mejor la naturaleza de la luz para explicar este efecto. Por fortuna, conocemos bien lo que mas nos importa de esta materia, que es la ley que guarda la luz en la refraccion que padece al atravesar cuerpos transparentes.

Concluiré diciendo que la refraccion de la luz explica diferentes fenómenos, que se observan diariamente; como son, que el fondo de un vaso lleno de agua, ó de un rio parece ménos baxo que lo que realmente está: que un palo que tiene una parte metida en el agua, parece roto, &c. &c.

CARTA 31.

Hemos visto que quando un rayo de luz pasa obliquamente de un medio á otro, padece una inflexíon que se llama refraccion, y que esta depende de la obliquidad de incidencia, y de la densidad de los medios. Actualmente debo decir á V. A. que la diversidad de colores causa tambien alguna variedad en la refraccion, lo que sin duda proviene de que los rayos que excitan en nosotros la idéa de diferentes colores, no hacen igual número de vibraciones en un mismo tiempo, diferenciándose entre sí del mismo modo que los sonidos mas ó ménos agudos. Se observa que los rayos roxos son los que padecen la menor inflexíon ó refraccion; á estos siguen los rayos naranjados, y por este órden van los amarillos, verdes, azules y violáceos; de suerte, que los rayos violáceos padecen la mayor refraccion, suponiendo que la obliquidad de incidencia y los medios son los mismos. De esto se infiere que los rayos de diverso color no tienen la misma refrangibilidad, y que los roxos son los ménos refrangibles, y los violáceos los mas.

Fig. 8. Se ve pues claramente que si PD es un rayo que pasa, por exemplo, del ayre al vidrio, siendo PDE el ángulo de incidencia, el rayo refracto se acercará á la perpendicular DF: y si el rayo fuese roxo, el refracto seria D-*roxo*; si fuese naranjado, el refracto seria D-*naranjado*, y así de los demas como se ve en la figura. Todos ellos se apartan de la linea DQ, que es la prolongacion de PD, acercándose hácia la perpendicular DF, con la diferencia de que el rayo roxo es el que ménos se aparta de DQ, ó el que padece la menor inflexîon; y el violado el que se aparta mas de DQ ó padece la mayor inflexîon. Si PD es un rayo del Sol, producirá todos los rayos colorados, que están indicados en la figura: de modo que si se reciben en un papel blanco, se ven en efecto todos estos colores, por lo que se dice que cada rayo del Sol contiene todos los colores simples. Lo mismo sucede si PD es un rayo blanco, ó que proviene de un cuerpo blanco: en este caso la refraccion hace aparecer todos los colores, de lo que se infiere que el color blanco es una mezcla de todos los colores simples, como ya lo diximos mas arriba. Efectivamente si se reunen en un punto todos los rayos colorados, se produce el color blanco. Por este medio conocemos quáles son los colores simples: la refraccion nos los descubre manifiestamente, y nos los presenta en este

órden: 1.º roxo; 2.º naranjado; 3.º amarillo; 4.º verde; 5.º azul; 6.º violado. No por esto se ha de creer que no hay mas que seis, porque como la diferencia de los colores proviene del número de vibraciones que hacen los rayos en un mismo tiempo, ó mas bien de las ondulaciones que los producen, es claro que los números medios darán tambien colores simples. En efecto, entre el amarillo y verde vemos otros colores medios que no podemos expresar por faltarnos nombres para ello.

Por estas mismas leyes se producen los colores que vemos en el *arco íris:* los rayos del Sol, al pasar por las gotas de agua que atraviesan el ayre, se reflexan y refractan, y la refraccion los descompone en los colores simples. V. A. habrá sin duda reparado que los colores del arco íris siguen el órden mencionado, esto es, roxo, naranjado, amarillo, verde, azul y violáceo; pero al mismo tiempo vemos todos los colores intermedios, como gradaciones de un color á otro, de suerte que si tuviéramos mas palabras para distinguir estos grados, encontraríamos mas desde un extremo al otro. Quizá otra nacion mas rica de voces, cuenta actualmente mayor número de colores diversos: y tal vez alguna cuenta ménos, si, por exemplo, no posee el término para expresar el naranjado. Algunos añaden el purpúreo que se descubre en la extremidad del roxo, que

otros comprehenden baxo el mismo nombre de roxo.

C.	D.	E.	F.	G.	A.	B.
purp.	roxo,	naranj.	amarillo,	verde,	azul,	violado.

Podemos comparar estos colores á los tonos de una octava como lo acabo de hacer, una vez que la razon de los colores puede expresarse por números del mismo modo que los sonidos. Aun parece que reforzando mas el violado, se tiene un nuevo color de púrpura, del mismo modo que al subir en los sonidos se pasa de B al sonido *c* que es la octava de C al subir. Y como en la Música se da un mismo nombre á estos dos tonos, por causa de su semejanza, sucede lo mismo en los colores, los quales despues de haber pasado por el intervalo de una octava, recobran los mismos nombres; ó bien dos colores, igualmente que dos sonidos, en que el número de vibraciones del uno es doble del otro, se miran como uno mismo, y tienen el mismo nombre. Fundado en este principio, imaginó en Francia el P. Castel una especie de Música de colores. Hizo un clave en que cada tecla hacia salir un pedazo de paño teñido de cierto color, y pretende que bien tocado, podrá presentar un espectáculo muy agradable á los ojos. El nombre que le dió es el de *clave ocular*, de que sin duda habrá oido hablar V. A. Por

mi parte creo que mas bien es la Pintura respecto de los ojos, lo que la Música respecto de los oidos; y dudo mucho que la representacion de varios pedazos de paño teñidos de diversos colores, pueda ser muy agradable (a). == A 27 de Julio de 1760.

(a) El conocimiento de la formacion de los colores deberia en efecto ser uno de los principales estudios de los Pintores. Los reflexos de unos cuerpos varian el color de los otros inmediatos, de modo que un cuerpo verde, por exemplo, no tiene el mismo color si está cerca de un cuerpo roxo ú otro: estas tintas son dificiles de imitar en la Pintura, y siempre se nota algo de este defecto en el colorido, sobre todo en los quadros donde se hallan muchos objetos de diversos colores. En este caso se hallan los paises, en los que la multitud de reflexos de unos cuerpos a otros, varía de tal modo las tintas, que apenas se ve un pais cuyo colorido imite al de la naturaleza.

No puedo dexar de hacer otra observacion que me parece propia de este lugar. Los Mineralogistas emplean los colores como uno de los caracteres de los minerales; y siendo importante el conocimiento de los minerales por dichos caracteres exteriores, convendria fixarlos quanto se pudiese. Muy lejos de eso, los Mineralogistas indican los colores de un modo muy vago, diciendo que tal mineral es de color de *ladrillo*, y otros nombres que no dan la idea clara que se pudiera desear. A mí me parece que se podria conseguir cierta exâctitud, valiendose de los colores naturales y sus mezclas; por cuyo medio se formaria una escala de colores tan extensa como se quisiera, la que serviria para indicar con cierta exâctitud la especie y grado de color de cada mineral.

CARTA 32.

Vimos ántes que la causa que hace visibles los objetos, es un movimiento de vibracion sumamente rápido, con que están agitadas las partículas de la superficie, y que la freqüencia de estas vibraciones determina el color. Es indiferente que estas partículas estén agitadas por una fuerza intrínseca, como sucede en los cuerpos luminosos, ó que reciban su agitacion de una iluminacion, ó de otros rayos que dan en ellos, como sucede en los cuerpos opacos. La freqüencia ó rapidez de las vibraciones depende de la magnitud y resorte de las partículas, del mismo modo que en una cuerda sonora depende de su grueso y tension: por eso miéntras que las partículas de un cuerpo conservan el mismo resorte, representan el mismo color, como se vé en las hojas de una planta que conservan el color verde, miéntras están frescas; pero en empezando á secarse, la mudanza de resorte que hay entónces, produce un color diferente. Ya he hablado de esto á V. A., y ahora voy á explicarle porqué de dia nos parece azul el Cielo. Considerando este fenómeno grosera-

mente, pareceria que habia allá arriba una bóveda prodigiosa de color azul, así como los Pintores representan el cielo sobre un techo. No necesito de desengañar á V. A. de esta preocupacion, porque poca reflexîon basta para comprehender que el Cielo no es una bóveda azul, en la que están fixas las estrellas como otros tantos clavos luminosos. V. A. está convencida de que las estrellas son unos cuerpos inmensos, que están á muy grandes distancias de nosotros, los quales se mueven libremente en un espacio casi vacío, ó que solo está lleno de la materia sutil que hemos llamado éter. Yo manifestaré á V. A. que este fenómeno tiene su orígen en nuestra atmósfera, que no es perfectamente transparente. Si fuese posible irse elevando mas y mas sobre la superficie de la Tierra, veriamos que el ayre se iba poniendo mas sutil, despues no seria apto para mantener la respiracion, y al fin se perderia enteramente, en cuyo caso nos hallariamos en el éter puro. Por esta razon, al paso que vamos subiendo por un monte, el azogue va baxando en el barómetro, porque la atmósfera va pesando ménos: tambien se observa que el color azul del Cielo se pone mas débil; de manera, que si se pudiese llegar al éter puro, se desvaneceria enteramente, y mirando hácia arriba nada veriamos, y estaria el Cielo negro como por la noche; porque quando no llega á nosotros ningun rayo de luz,

todo nos parece negro. Con razon pues, se pregunta ¿por qué nos parece azul el Cielo? Este fenómeno no se verificaria si el ayre fuese un medio perfectamente transparente como el éter, en cuyo caso no recibiriamos otros rayos que los de las estrellas: pero de dia el resplandor es tan grande que la corta luz de las estrellas desaparece. V. A. no veria la luz de una vela, de dia, si estuviese un poco distante, siendo así que la misma parece muy brillante de noche á distancias mucho mayores: lo qual prueba claramente que se debe buscar la causa del azul del Cielo en la falta de transparencia del ayre. Este se halla cargado de cantidad de partículas, que no son enteramente transparentes; pero iluminándolas los rayos del Sol, reciben un movimiento de vibracion, que produce nuevos rayos que son propios de ellas; ó lo que es lo mismo, son opacas, y se nos hacen visibles luego que están iluminadas. El color de estas partículas es azul, con lo que está explicado el fenómeno. El ayre contiene gran cantidad de partículas azules, ó podemos decir que sus moléculas son celestes; pero de un color tan baxo que no se percibe sino en una masa de ayre enorme. Por eso no percibimos este color en un aposento; pero quando los rayos azules de toda la atmósfera penetran á un tiempo en nuestros ojos, por baxo que sea su color, la totalidad puede producir un color muy subi-

do. Confirmase esto con otro fenómeno que no dexará de conocer V. A. Quando se mira un bosque de cerca, parece muy verde; pero á medida que nos apartamos nos parece mas azul. Los bosques de los montes de Hartz, que se ven desde Magdebourg, parecen bastante azules; pero mirados desde Halberstadt se ven verdes: la razon de esto es la gran cantidad de ayre que hay entre aquellos montes y Magdebourg. Por sutiles que sean las partículas azules del ayre, hay en este intervalo una gran cantidad, cuyos rayos entran juntos en los ojos, y representan por consiguiente un color azul bastante subido. Un fenómeno semejante se observa en la niebla, en cuyo caso el ayre está cargado de partículas opacas blanquecinas. Si se mira á corta distancia, apénas se echa de ver la niebla; pero si la distancia es mayor, el color blanquecino se percibe mejor, y á veces llega á no verse nada al traves. El agua del mar parece verde á cierta profundidad, pero si solo se toma una corta cantidad, como la que podria contener un vaso, se halla bastante diáfana, y casi sin color. La explicaccion es la misma en este caso. El agua está cargada de partículas verdosas, que no producen efecto sensible en corta cantidad; pero en mucha, como quando se mira el fondo, tantos rayos verdes reunidos producen un color subido. = A 27 de Julio de 1760.

CARTA 33.

Miéntras que los rayos, producidos por la vibracion rápida de las moléculas de un cuerpo, se mueven en un mismo medio transparente, conservan la misma direccion, ó lo que es lo mismo caminan en lineas rectas. Podemos representarnos estos rayos como los de un círculo, ó mas bien de una esfera, que saliendo del centro, se dirigen á la circunferencia. Esta semejanza ha dado motivo á usar del mismo nombre de rayo, aunque propiamente la luz no consiste en lineas, sino en vibraciones muy rápidas, que se suceden en lineas rectas: por esta razon se puede considerar la luz como lineas rectas, que salen hácia todos lados de un punto luminoso.

Fig. 9. Sea C un punto luminoso, del qual emanan rayos hácia todos lados. Imagínese V. A. dos esferas descritas desde el centro C, una de las quales tenga por círculo máximo *abde*, y la otra ABDE; en cuyo caso la luz que da en la superficie de la menor *abde*, ocupará igualmente la de la mayor ABDE · por lo que la luz estará mas débil en la superficie de esta que en la primera. De esto po-

demos inferir que el efecto de la luz debe ser tanto menor quanto mas distantes estemos del punto luminoso. Si suponemos que el radio de la esfera mayor es doble del de la menor, la superficie de la primera será quatro veces mayor que la de la segunda; y como la cantidad de luz que da en ámbas es la misma, se sigue que la luz es quatro veces mas débil á una distancia doble, nueve veces mas á distancia triple, diez y seis veces mas á una distancia quádrupla, y así en adelante. Si aplicamos esta regla á la luz del Sol verémos que si la Tierra estuviese dos veces mas distante del Sol, la luz que le envia llegaria quatro veces mas débil; y si el Sol estuviese cien veces mas distante de nosotros, su claridad seria cien veces ciento, esto es, diez mil veces menor. Si suponemos pues que una estrella fixa sea tan grande y luminosa como el Sol, pero quatrocientas mil veces mas distante, su luz será quatrocientas mil veces quatrocientas mil, ó bien ciento y sesenta mil millones de veces mas débil que la del Sol. Esta es la razon por que no vemos las estrellas durante el dia; pues una luz muy débil se desvanece delante de otra mucho mas brillante. Lo mismo sucede con las velas y demas cuerpos luminosos, los quales nos dan tanta ménos claridad, quanto mas distantes están de nosotros. V. A. habrá notado que por grande que sea la luz de una vela, su claridad no

basta para leer en un libro, en apartándose mucho de ella. Ademas hay otra circunstancia unida estrechamente á la que acabo de referir, y es que un mismo objeto nos parece mas pequeño quanto mas distante está; de modo que un gigante visto á una distancia, grande, no nos parece mayor que un enano visto de cerca. Para juzgar mejor, se atiende á los ángulos en que se ven los objetos.

Fig. 10. Supongamos que AB es un objeto qualquiera, un hombre por exemplo, y que un ojo lo mira desde el punto C. Tírense las lineas rectas CA y CB, que representan los rayos que vienen de los extremos del objeto al ojo, y el ángulo formado en C se llama el *ángulo visual* del objeto en el punto C. Si mirásemos el mismo objeto desde el punto D, el ángulo visual en D seria mayor; por lo que se ve que quanto mas distante está el objeto, tanto menor es su ángulo visual; y tanto mayor quanto mas cerca. Los Astrónomos miden con gran cuidado los ángulos baxo los quales vemos los cuerpos celestes, y hallan que el ángulo visual del Sol es algo mayor que medio grado. Si el Sol estuviese dos veces mas distante, el ángulo se reduciria á la mitad, por lo qual no seria nada extraño que nos diese quatro veces ménos claridad; y si estuviese quatrocientas mil veces mas distante de nosotros, el ángulo visual seria otras

tantas veces menor, y este astro no nos pareceria mayor que una estrella. Conviene pues distinguir la magnitud aparente de un objeto, de la verdadera: la primera es un ángulo mayor ó menor, segun que el objeto está mas ó ménos cerca. La magnitud aparente del Sol, es un ángulo de cerca de medio grado, siendo así que la verdadera magnitud es mucho mayor que la Tierra: porque siendo el Sol un globo, su diámetro se estima en 214000 leguas españolas, quando el diámetro de la Tierra solo es de 1900 leguas (a). = A 29 de Julio de 1760.

CARTA 34.

Lo que llevo expuesto á V. A. acerca del fenómeno de la vision, pertenece á la Optica, que es un ramo de las Matemáticas mixtas, que ocupa tambien un lugar muy distinguido en la Física. Ademas de los colores, cuya naturaleza he procurado expli-

(a) Los Astrónomos llaman tambien diámetro aparente de un astro, al ángulo baxo el qual se ve. Así dicen que el diámetro medio del Sol es de 31′ 58″: el de la Tierra, visto desde el Sol, seria de 17″. De donde se sigue que siendo el diámetro de la Tierra de 1900 leguas, el del Sol será de 214000 leguas.

car, se trata en ella del modo cómo se hace la vision, y de los diferentes ángulos baxo los quales se ven los objetos. V. A. habrá notado que se puede ver un mismo objeto, yá baxo un ángulo grande, yá baxo uno pequeño, segun está mas ó ménos distante. Tambien digo que un objeto chico se puede ver baxo el mismo ángulo que uno grande, siempre que aquel esté muy cerca y este muy distante. Un plato puede cubrirnos el Sol enteramente; de suerte que si tiene medio pie de diámetro, y se coloca á la distancia de 60 pies, nos cubre exâctamente el Sol, y se le ve baxo el mismo ángulo que á este astro, sin embargo de la prodigiosa diferencia entre sus tamaños. La Luna llena, nos parece casi baxo el mismo ángulo visual que el Sol, y por consiguiente casi del mismo tamaño, aunque en realidad es mucho menor; pero es menester atender á que el Sol está cerca de 400 veces mas distante que la Luna.

El ángulo visual es un punto sumamente importante en la Optica, porque de él dependen las imágenes de los objetos que se pintan en el fondo del ojo, de manera que son tanto mayores ó menores quanto mayor ó menor es el ángulo visual. Y como no vemos los objetos sino en quanto se pintan sus imágenes en el fondo del ojo, es claro que constituyen el objeto inmediato de la vision ó de la sensacion. Una de estas imágenes no nos da

á conocer mas que tres cosas: primeramente su figura y colores nos dan motivo para juzgar que fuera de nosotros hay un objeto semejante, de tal figura y tal color: en segundo lugar, su tamaño nos da á conocer el ángulo visual baxo el qual nos parece el objeto; y finalmente su situacion en el fondo del ojo nos da á conocer en qué direccion se halla el objeto fuera de nosotros, ó bien en quál llegan los rayos á nuestros ojos. En estas tres cosas consiste pues el fenómeno de la vision, y no percibimos mas que, 1.º la figura y los colores: 2.º el ángulo visual ó el tamaño aparente: 3.º la direccion, ó el lugar hácia donde juzgamos que exíste el objeto. La vision pues no nos enseña nada acerca del verdadero tamaño ni de las distancias de los objetos. Aunque nos imaginamos conocer con la vista el tamaño y distancia de un objeto, no es esto un acto de la vision sino del juicio. Los demas sentidos y un hábito continuado, nos ponen en estado de estimar la distancia á que está de nosotros un objeto. Esta facultad no se extiende sino á los objetos cercanos; y al punto que su distancia crece, nuestros juicios no son seguros, de modo que si alguna vez aventuramos alguno, está por lo regular muy distante de la verdad. Nadie dirá que ve el tamaño ó la distancia de la Luna, y quando el vulgo cree juzgar de su magnitud mirándola como igual á la de los cuerpos terrestres que ve

baxo el mismo ángulo, no le engaña la vision, sino el juicio que quiere hacer de un objeto que no está á su alcance. Por donde se ve incontestablemente que los ojos no deciden por sí solos de la distancia y magnitud de los objetos. Sobre esto se trae el exemplo singular de un ciego de nacimiento, á quien se dió vista, hallandose ya de una edad bien avanzada (*a*). Este hombre quedó desde luego deslumbrado: nada distinguia sobre la magnitud y distancia de los objetos: todos le parecian tan cerca que iba á tocarlos: y fué menester mucho tiempo y grande hábito para llegar al verdadero uso de la vista; de manera que le fué necesario un largo aprendizage, el mismo que hacemos nosotros durante nuestra tierna infancia, de que no nos queda recuerdo alguno. Este ciego nos enseñó que un objeto nos parece tanto mas distinto y claro quanto mas cerca está de nosotros, y recíprocamente un objeto que nos parece muy claro y distinto juzgamos que está cerca, y le creemos distante si nos parece obscuro y confuso. Por eso los pintores dan ménos fuerza á las tintas de los objetos que quieren representar distantes, y refuerzan las de los que quieren representar inmediatos, con lo que logran determinar nuestro juicio conforme al efecto que quie-

(*a*) El ciego á quien hizo la operacion de la catarata el célebre *Cheselden*.

ren producir; lo que consiguen, de suerte que los objetos que nos representan en sus lienzos, los creemos mucho mas distantes unos que otros. Esta ilusion no tendria lugar, si la vision nos manifestase la verdadera distancia y magnitud de los objetos. = A 1.º de Agosto de 1760.

CARTA 35.

V. A. está ya convencida de que la vista no nos descubre nada por sí sola, acerca del tamaño y distancia de los objetos, y que todo lo que creemos ver sobre esto, es efecto de nuestro juicio. Conviene distinguir bien lo que nos representan los sentidos, de lo que nuestro juicio añade, en lo qual nos engañamos muy á menudo. Muchos Filósofos han declamado contra la infidelidad de nuestros sentidos, queriendo probarnos la incertidumbre de nuestros conocimientos (*a*), confundiendo las representaciones de nuestros sentidos con el juicio. Vemos, dicen, el Sol del tamaño de un plato, siendo así que es infinitamente mayor: luego la vista nos engaña y to-

(*a*) Tales eran los Pyrrhónicos. En el dia se llama *sceptirismo* ó pyrrhonismo á este estado de incertidumbre.

dos los demas sentidos, ó á lo ménos no podemos fiarnos de ellos: por consiguiente todos los conocimientos adquiridos por medio de los sentidos, son inciertos y probablemente falsos: luego nada sabemos. Tal es el raciocinio de estos scépticos, que se glorian de su gran capacidad, siendo así que nada hay mas fácil que el decir que todo es incierto, pudiendo sobresalir, en esta sublime filosofía, el mayor ignorante. Pero es falso que la vista no nos represente el Sol mayor que un plato: la vista no decide nada de su magnitud, sino que es el juicio quien nos engaña. Sin embargo, quando los objetos no están muy distantes, determinamos con bastante exâctitud sus dimensiones y distancias; y los demas sentidos, juntos al grado de claridad en que vemos dichos objetos, dan mayor certeza á nuestro juicio. Luego que tenemos la idéa de la distancia de un objeto, nos formamos tambien la de su verdadero tamaño, porque sabemos que depende de aquella. Por eso, quanto mas distante creemos un objeto, tanto mayor nos parece, y recíprocamente nos parece tanto menor quanto mas cerca lo creemos. De este modo nos sucede muchas veces el tomar un objeto por otro mucho mayor, quando alguna distraccion nos impide atender á la distancia, al tiempo de hacer el juicio. La razon es que un cuerpo muy abultado puede verse á una distancia considerable, baxo el mismo ángulo que

un objeto pequeño que está cerca de nosotros. Otro fenómeno hay conocido de todos, que ha dado motivo á muchas disputas entre los sabios, cuya explicacion nos será ahora muy fácil. A todos parece la Luna, quando sale, mayor que quando está ya elevada sobre el horizonte, siendo así que el ángulo visual, y el tamaño aparente son los mismos. Del mismo modo el Sol parece mayor al salir ó al ponerse que á medio dia. ¿Quál es la causa de un juicio tan general y tan falso? Sin duda que creemos que el Sol y la Luna están mas distantes de nosotros en el horizonte, que quando están elevados sobre él. Pero ¿por qué se juzga así? La repuesta que se da es, que quando el Sol ó la Luna están en el horizonte, vemos muchos objetos intermedios, que parece aumentan sus distancias, en lugar que quando se han elevado sobre el horizonte, no vemos nada entre estos astros y nosotros, y por consiguiente los juzgamos mas cercanos. No sé si V. A. quedará satisfecha con esta explicacion. Puede objetarse que un aposento vacío parece mayor que otro muy moblado, que sea igualmente grande; de donde se infiere que quando vemos muchas cosas entre un objeto y nosotros, no producen siempre el efecto de hacer que lo juzguemos mas distante. Creo que V. A. hallará mejor la siguiente explicacion.

El círculo A representa la Tierra, y el Fig. 11.

círculo de puntos la atmósfera ó el ayre de que está rodeada; y supongamos que estamos en el sitio A. Esto sentado, si la Luna está en el horizonte, nos llegan sus rayos por la linea BA; y si está encima de nosotros, nos llegan por la linea CA. En el primer caso, los rayos atraviesan un espacio grande BA de nuestra atmósfera, y en el segundo el pequeño espacio CA. V. A. se acuerda de que los rayos de luz, que pasan por un medio transparente, pierden tanto mas de fuerza, quanto mayor es su travesía: por lo que siendo la atmósfera un medio transparente, el rayo BA perderá al atravesarla mucho mas de su fuerza que el rayo CA. De donde se sigue en general, que todos los cuerpos celestes parecen ménos brillantes en el horizonte que encima de nosotros. Ademas de esto, quando el Sol está en el horizonte, lo podemos mirar directamente, y quando está á cierta altura ya no podemos sufrir su resplandor. De lo que se colige que la Luna parece ménos resplandeciente en el horizonte que quando está elevada. Pero V. A. tiene presente lo que dixe en otra parte, hablando de los efectos de la pintura, que un mismo objeto nos parece muy distante quando su luz se rebaxa: luego quando la Luna está en el horizonte nos debe parecer mas distante que en qualquiera otra altura. La conseqüencia es manifesta: porque si juzgamos la distancia de la Luna en el ho-

rizonte mayor, debemos tambien juzgar mayor la Luna misma; y en general todas las estrellas quando están cerca del horizonte nos parecen mayores, porque las creemos mas distantes. = A 3 de Agosto de 1760.

CARTA 36.

He expuesto ya todo lo que se trata comunmente en la Optica, y solo queda que hablar de la sombra. V. A. sabe lo que esta es, por lo que no necesito detenerme en ello. La sombra supone siempre dos cosas: un cuerpo luminoso, y un cuerpo opaco que no transmita los rayos de luz. El cuerpo opaco impide que estos pasen detras de él, y este espacio á que no llegan los rayos, es lo que se llama *sombra* del cuerpo opaco, ó lo que es lo mismo la sombra comprehende todos los sitios desde donde no se puede ver el cuerpo luminoso, porque el cuerpo opaco intercepta sus rayos.

Sea A un punto luminoso, y BCDE un cuerpo opaco: tírense los rayos ABM, ADN por las extremidades del cuerpo opaco: es evidente que ningun rayo de luz que salga de A, podrá penetrar en el espacio MBEDN, y desde ningun punto de este espacio en Fig. 12.

que se encuentre el ojo, como por exemplo en O, verá el punto luminoso. Este espacio es la sombra del cuerpo opaco, la que como se ve, se ensancha y extiende al infinito. Pero si el cuerpo de donde salen los rayos tiene cierta magnitud, el modo de determinar la sombra es algo diferente. Tres casos hay que considerar: el primero quando es mas pequeño que el cuerpo opaco: el segundo quando es igual; y el tercero quando es mayor. El primer caso es el mismo de que acabamos de hablar, en que la luz era menor que el cuerpo opaco.

Fig. 13. El segundo es quando el cuerpo luminoso A es del mismo tamaño que el opaco BCDE. Tirando los rayos ABM, AEN, el espacio MBEN será la sombra y será imposible ver el cuerpo luminoso en todo este espacio. Tambien se ve que las lineas BM, y EN son paralelas, y la sombra se extiende al infinito conservando siempre una misma latitud.

Fig. 14. En el tercer caso en que el cuerpo luminoso AA es mayor que el opaco BCED, los rayos extremos ABO y AEO concurren en el punto O, de suerte que el espacio de la sombra BOE es finito, y se termina en O. En este caso se dice que la sombra es cónica. La luz no puede penetrar en este espacio, y desde ninguna parte de él se puede ver el cuerpo luminoso. A este caso pertenecen las sombras de los cuerpos celestes,

los quales son mucho menores que el cuerpo luminoso que los ilumina, esto es el Sol. Aquí encontramos, otra vez, motivo para admirar la sabiduría del Criador; porque si el Sol fuese menor que los planetas, las sombras de estos se extenderian al infinito, lo que privaria unos espacios inmensos de estar iluminados por el Sol. Pero como la magnitud de este astro es muchas veces mayor que la de los planetas, sus sombras están comprehendidas en espacios mas pequeños, donde no penetra la luz del Sol. Por eso la Luna y la Tierra dan sombras cónicas, y puede suceder que la Luna entre en la sombra de la Tierra enteramente ó solo en parte. Quando esto sucede se dice que la Luna está eclipsada enteramente ó en parte. En el primer caso se llama *eclipse total*, y en el segundo *eclipse parcial*. La Luna dexa tambien detras de sí su sombra, pero mas pequeña que la de la Tierra: sin embargo puede suceder que la sombra de la Luna llegue á la Tierra, en cuyo caso los que están privados de la luz del Sol, padecen un *eclipse de Sol*. Por consiguiente, hay eclipse de Sol quando la Luna es causa que no veamos el Sol en todo ó en parte. De noche no vemos el Sol, aunque no hay eclipse, pero entónces nos hallamos en la sombra de la Tierra, lo que nos tiene en la mayor obscuridad.

Hasta aquí solo hemos considerado los casos en que los rayos de luz se transmiten en

lineas rectas, que es el objeto de la Optica. Hemos visto que los rayos de luz salen á veces reflexos y á veces refractos. V. A se acuerda de que quando los rayos caen sobre una superficie tersa, como la de un espejo, salen reflexos; y quando pasan de un medio transparente á otro, padecen refraccion, y en cierto modo se rompen. De aquí nacen otras dos ciencias: la que considera la vision que se hace por medio de rayos reflexos se llama *Catóptrica*; y la que tiene por objeto la vision por rayos refractos se llama *Dióptrica*. La *Optica* trata de la vision que se hace por rayos directos. Expondré pues brevemente á V. A. estas dos ciencias la Catóptrica y la Dióptrica, que encierran muchos fenómenos que se presentan diariamente, de los quales es muy importante saber la causa y propiedades. Todo lo que toca á la vision, es sin duda el objeto mas digno de excitar nuestra curiosidad. = A 5 de Agosto de 1760.

CARTA 37.

La Catóptrica trata de la vision que se hace por rayos reflexos. Quando los rayos de luz dan en una superficie muy tersa, sa-

len reflexos, de modo que los ángulos de una y otra parte son iguales entre sí.

Para aclarar esto, sea AB la superficie de un espejo ordinario, y P un punto luminoso, del qual salen los rayos PQ, PM, P*m* que dan en el espejo. Sea PQ el rayo que cae perpendicularmente al espejo, el qual tiene la singular propiedad de salir reflexo en la misma direccion QP en que cayó, al modo que en un billar, si se tira una bola perpendicularmetne á la banda, sale repelida en la misma direccion. Qualquiera otro rayo como PM sale reflexo por una linea MN, que forma un ángulo AMN igual al ángulo BMP: el rayo PM se llama *rayo incidente*, y MN *rayo reflexo*. Del mismo modo al rayo incidente P*m* corresponderá el rayo reflexo *mn*; y por consiguiente por causa de la reflexîon, el rayo PM continúa por la linea MN, y el rayo P*m* en la direccion *mn*, de suerte que el ángulo AMN es igual á BMP, y el ángulo A*mn* igual á B*m*P. El modo corriente de enunciar esta propiedad es diciendo que: *el ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexîon.* Ya vimos ántes esta singular propiedad; pero ahora verémos los fenómenos que deben resultar de esto en la vision. Desde luego se ve que si hay un ojo en N, recibirá del punto luminoso P el rayo reflexo MN; de modo que el rayo que excita en este ojo la sensacion del cuerpo de donde

Fig. 15.

salió, viene en la direccion MN, del mismo modo que si el objeto P se hallase en algun punto de esta linea: de donde se sigue que el ojo debe ver el objeto P en la direccion MN. Para entender esto mejor, es necesario acudir á la Geometría, y V. A. se acordará con gusto de las proposiciones en que está fundado el raciocinio siguiente. Prolónguese el rayo perpendicular PQ detras del espejo hasta R, de manera que QR sea igual á PQ: voy á probar que si se prolongan todos los rayos reflexos como MN, *mn*, todos se reunirán en este punto R. Porque si consideramos los dos triángulos PQM, y RQM, verémos que tienen el lado MQ comun; que el lado QR es igual al lado PQ; y como el ángulo PQM es recto, lo será tambien RQM: por consiguiente teniendo cada uno de estos dos triángulos un ángulo igual comprehendido entre dos lados iguales, serán iguales, y el ángulo PQM será igual al ángulo RMQ: pero como el ángulo AMN es el opuesto al vértice de RMQ, será igual á él; tambien será igual al ángulo PMQ, que es el ángulo de incidencia; por consiguiente el ángulo AMN será el ángulo de reflexîon. Del mismo modo se ve que si se prolonga el rayo reflexo *mn* pasa por el punto R: luego todos los rayos del punto P, que salen reflexos del espejo, siguen el mismo camino que si vinieran del punto R, y por consiguiente producen en el ojo el mis-

mo efecto que produciria el objeto P colocado detras del espejo en R, punto que está en la perpendicular PQR, distante de la superficie del espejo lo mismo que P, pero á la parte contraria. V. A. entiende ahora sin duda porqué los espejos representan los objetos detras de sí, y juzgamos que están colocados detras de la superficie del espejo á la distancia á que están delante. El espejo traslada pues los objetos á otro lugar, sin mudar la apariencia. Para distinguir el objeto aparente del verdadero, se llama *imágen* al objeto aparente, y se dice que las imágenes representadas por los rayos reflexos están detras del espejo. Esta denominacion sirve para distinguir los objetos reales de sus imágenes, que son las que nos representan los espejos: estas imágenes son perfectamente iguales y semejantes á los objetos, exceptuando que, lo que en el objeto está á la izquierda, se ve en la imágen á la derecha, y reciprocamente: de manera que un hombre que lleva la espada á la izquierda, parece en el espejo que la lleva á la derecha.

Entendido lo que llevamos dicho, será muy facil determinar la imágen de un objeto qualquiera detras del espejo. Sea AB un espejo, y EF un objeto qualquiera. Desde los puntos E y F tirense las perpendiculares EG, FH á la superficie del espejo, prolongadas hasta *e* y *f* de modo que EG sea Fig. 16.

igual á *e*G, y FH igual á *f*H, y *ef* será la imágen que se busca, la qual es igual al objeto EF, una vez que el quadrilátero F*ef*H, es totalmente igual al quadrilátero GEFH. Debe notarse que aun quando se cortase una parte CB del espejo, y que solo quedase AC, no por eso se alteraria la imágen. Por consiguiente, quando el espejo no es bastante grande para poder tirar las perpendiculares EG y FH, se debe concebir, continuado el plan del espejo, del mismo modo que se prolongan las lineas en la Geometría quando se quieren tirar perpendiculares á ellas. Lo que acabo de decir solo pertenece á los espejos planos: los cóncavos y convexôs producen efectos diferentes. = A 7 de Agosto de 1760.

CARTA 38.

A dos cosas se reduce todo lo que pertenece á la reflexîon de los rayos: la primera, el lugar de la imágen que representan los rayos reflexos: la segunda, la semejanza entre la imágen y el objeto. En los espejos planos, el lugar de la imágen está detras del espejo, á una distancia igual á la que se halla el objeto delante, y la imágen es igual

y semejante al objeto. A estas dos cosas debe atenderse quando el espejo no es plano, sino convexô ó cóncavo, porque entónces está por lo comun la imágen muy desfigurada. V. A. habrá observado que quando se presenta un objeto delante de una cuchara bien bruñida, se ve su imágen muy desfigurada, sea que se mire en la superficie interior que es cóncava, ó en la exterior que es convexâ: una bola de plata muy bruñida representa los objetos bastante bien, pero menores. Si la superficie interior de la bola está bruñida, se ven en ella los objetos mayores, con tal que no estén muy distantes, porque los mismos objetos aparecerian menores é inversos si se les aleja de este espejo. No es menester tomar una bola entera: una parte de su superficie produce el mismo efecto. Estos espejos se llaman esféricos, y son de dos especies, convexôs y cóncavos, segun se toman, ó de la superficie exterior ó de la interior de la esfera. Hácense de la mezcla de algunos metales que puedan bruñirse bien, en lugar que los espejos planos se hacen de vidrio, cubierto por un lado con una hoja de estaño y azogue, para impedir el paso de los rayos y reflexarlos. Empezaré por los espejos convexôs.

Sea ACB un espejo convexô perteneciente á una esfera cuyo centro es G. Si delante de él se coloca un objeto E á mucha Fig. 17.

distancia, se verá la imágen detras en el punto D, que está en medio del radio CG de la esfera; y su tamaño estará con el del objeto en la razon de las lineas CD y CE; por consiguiente será mucho menor que el objeto, por ser la linea CD mucho menor que CE. Si acercamos el objeto E al espejo, la imágen se acercará tambien: todo lo qual se demuestra por la Geometría, suponiendo que un rayo incidente qualquiera EM sale reflexo en la direccion MN, de suerte que el ángulo BMN sea igual al ángulo CME. De este modo quando el ojo está en N, que recibe el rayo reflexo MN, verá el objeto E en esta direccion, y juzgará que está en el punto D; ó lo que es lo mismo, D será la imágen del objeto situado en E, la qual será menor que él. Tambien se percibe fácilmente que la imágen disminuirá á proporcion que sea menor la esfera, de que es parte el espejo.

Pasemos á los espejos cóncavos que tienen grande uso en varias ocasiones. Sea ACB
Fig. 18. un espejo perteneciente á una esfera, cuyo centro es G, y el radio GC. Si concebimos un objeto E muy distante del espejo, su imágen aparecerá delante de él en D, en medio del radio GC: porque qualquier rayo de luz EM del objeto E, que dé en la superficie del espejo, saldrá reflexo de modo que pase por el punto D; y si el ojo está colocado en N, verá en D la imágen

del objeto, la qual estará con él en la razon de CD á CE, por lo que en este caso será menor que él. Si se acerca el objeto al espejo, la imágen se aleja; y quando el objeto está en el centro mismo de la esfera G, la imágen lo está tambien. Si se acerca mas el objeto hasta D, la imágen se alejará mas allá de E al infinito. Si se acerca aun mas el objeto, de modo que se halle entre C y D, la imágen estará detras del espejo, y parecerá mayor que el objeto. Quando uno se mira en uno de estos espejos, colocándose entre D y C, ve su rostro de un tamaño disforme, lo qual se explica por la naturaleza de la reflexîon, en virtud de la qual el ángulo de incidencia EMA es siempre igual el ángulo de reflexîon CMN. A esta especie pertenecen los espejos ustorios, pudiendo usarse todo espejo cóncavo para quemar. Esta propiedad singular es digna de explicarse mas por extenso.

Sea ACB un espejo cóncavo, cuyo centro es G, y en lugar de un objeto esté el Sol en E, cuyos rayos saldrán reflexos, y representarán su imágen en el punto D en medio de GC. La magnitud de esta imágen quedará determinada por los rayos extremos SC, SC, y por consiguiente será muy pequeña; pero como todos los rayos del Sol que caen en el espejo ACB están reflexos en esta imágen, estarán reunidos en ella, y tendrán tanta mas actividad quanto la imágen D Fig. 19.

sea menor que la superficie del espejo. Como los rayos del Sol están dotados de la propiedad de calentar los cuerpos en que dan, al mismo tiempo que los iluminan, se sigue que en D debe haber un grado de calor muy grande; el que puede llegar á ser mayor que el fuego mas violento, si el espejo es bastante grande. En efecto, por medio de estos espejos, se queman en un instante todos los cuerpos combustibles, y se funden los metales. La imágen del Sol es la que produce estos efectos maravillosos. Comunmente se da á esta imágen el nombre de *foco* del espejo, el qual está siempre en medio del radio CG, entre el espejo y su centro (*a*).

Debe notarse que no es lo mismo un espejo ustorio que una lente ustoria, de las quales hablaré á V. A. en el correo próxîmo. = A 9 de Agosto de 1760.

(*a*) Generalmente se llama *foco* el punto donde se reunen realmente, ó se concibe que van á reunirse los rayos de luz, sea por medio de la reflexîon ó por la refraccion. Otros le llaman *focus*. El foco *verdadero* es el punto en que se reunen los rayos de luz que vienen paralelos, y este es el foco de que aquí se habla.

CARTA 39.

Habiendo expuesto los principales fenómenos de la *Catóptrica*, que resultan de la reflexion de los rayos de luz, pasaré á hablar de la *Dióptrica*, en que se trata de la refraccion de los rayos al pasar por diferentes medios transparentes (*a*). Un rayo de luz no sigue su camino sinó quando se halla en un mismo medio; pero si entra en otro medio transparente, muda mas ó ménos su direccion, segun cae mas ó ménos obliquamente, exceptuando el caso en que entra perpendicularmente en el otro medio, pues entónces conserva su direccion primitiva. Los instrumentos que principalmente se consideran en la Dióptrica, son los vidrios, como los que se usan en la construccion de los anteojos y microscopios. Su forma es circular; pero lo que hay que observar es la figura de sus dos caras, que pueden ser ó planas ó conve-

(*a*) En la Física se llama medio, generalmente, á todo cuerpo donde otro se mueve. Regularmente se aplica esta palabra *medio* a los fluidos. Asi quando se dice que un cuerpo atraviesa diferentes *medios* de diferente densidad, es lo mismo que decir que atraviesa, por exemplo, el ayre, el agua &c.

xâs, ó cóncavas. La convexîdad ó concavidad es siempre igual á la de una esfera, cuyo radio importa conocer, pues se mira como la medida de la curvatura de estas superficies. Sentado esto, vamos á considerar las diferentes especies de vidrios dióptricos (*a*).

Fig. 20. La primera especie n. 1. es quando las dos caras son planas. Si se corta un círculo de un cristal, se tendrá este vidrio, el qual no muda nada, ni al tamaño ni á la distancia de los objetos. El vidrio n. 2. tiene una superficie plana y la otra convexâ, y se llama *plano-convexô*: la especie del n. 3. tiene una cara plana y la otra cóncava, y se llama *plano-cóncavo*: el n. 4. tiene ámbas superficies convexâs y se llama *convexô-convexô*: el n. 5. tiene las dos caras cóncavas, y se llama *cóncavo-cóncavo*: los n. 6. y 7. tienen una superficie convexâ y la otra cóncava, y se llaman *meniscos*. Todas estas especies se reducen á dos clases: una que comprehende todos aquellos en que la convexîdad prevalece para el efecto, como los n. 2, 4 y 6: en la otra lo determina la concavidad como en los números 3, 5 y 7. A los primeros se les llama simplemente convexôs, y á los segundos cóncavos. Estas dos clases se distinguen por la propiedad siguiente.

Fig. 21. Sea AB un vidrio convexô, y EF un

(*a*) A estos vidrios se les da tambien el nombre de *lentes*.

objeto muy distante; los rayos GA, GC, GB caen sobre el vidrio, y al pasar por él, padecen la refraccion, la qual se hace de modo que los rayos que saliéron de G se reunen en *g*: lo que sucederá igualmente á los rayos que salgan de cada punto del objeto (*a*). En virtud de esto los rayos refractos A*l*, B*m*, C*n* seguirán el mismo camino que seguirian si el objeto estuviese en *egf* en una situacion inversa, y pareciendo tantas veces menor, quantas la distancia C*g* esté contenida en CG. Se dice pues que el vidrio representa el objeto EF detras de sí en *ef*, á lo que se llama *imágen*, la que es por consiguiente inversa, y está con el objeto en la razon que hay entre las distancias de la imágen al vidrio, y de este al objeto. Es claro que si en lugar del objeto estuviera el Sol, la imágen representada en *ef* seria la del Sol, y aunque pequeñísima, seria tan brillante que deslumbraria al que la mirase; porque todos los rayos que atraviesan el vidrio se reunen en ella, y exercen sus dos propiedades de alumbrar y calentar. El calor es casi tantas veces mayor quantas la superficie del vidrio excede al tamaño de la imágen del Sol, que se llama *foco*: por lo

(*a*) Esto es, que todos los rayos que salgan de cada punto del objeto, se reunirán en otro punto detras de la lente: de suerte que los rayos que salen del punto E se reunirán en *e*: y los rayos que salen del punto F se reunen en *f*.

que si el vidrio es muy grande se pueden producir efectos prodigiosos de calor. Si en el foco de este vidrio se ponen materias combustibles, se queman en un instante; los metales se funden y aun se vitrifican, y se producen efectos que no se conseguirian con el fuego mas activo. La razon es la misma que la que vimos hablando de los espejos ustorios. En uno y otro caso, los rayos que dan en la superficie del espejo ó de la lente se reunen en el pequeño espacio de la imágen del Sol: la única diferencia que hay es que, en los espejos, la reflexîon es la que produce la reunion, y en las lentes la refraccion. Tal es el efecto de los vidrios convexôs, que son mas gruesos en el medio que en sus extremos, representados por los números 2, 4 y 6. Los de los números 3, 5 y 7 que son mas gruesos en los extremos que en el medio, y se llaman cóncavos, producen el efecto contrario.

Fig. 22. Sea ACB un vidrio de esta clase, y EGF el objeto á una distancia muy grande: los rayos GA, GC, GB que salen del punto G, padecerán una refraccion tal que al salir del vidrio, seguiran las direcciones A*l*, C*m* y B*n*, como si viniesen del punto *g*, de modo que si hubiese un ojo colocado en *m* detras del espejo, veria el objeto del mismo modo que si estuviese calocado en *efg*, en una situacion semejante á la que tiene en el punto G, pero tantas veces menor, quantas la distancia GC es mayor que la distancia C*g*. Luego los vi-

drios convexôs representan la imágen de los objetos muy distantes detras de sí, y los cóncavos delante: aquellos inversa, y estos en la situacion que realmente tienen: en ámbos es la imágen tantas veces menor, quantas la distancia del objeto al vidrio es mayor que la de este á la imágen. En esta propiedad está fundada la construccion de los anteojos, telescopios y microscopios. = A 11 de Agosto de 1760.

CARTA 40.

Los vidrios convexôs nos suministran algunas observaciones que voy á exponer á V. A. Hablo en general de los que son mas gruesos en el medio que en los extremos, bien sean las dos superficies convexâs, una plana y otra convexâ, ó finalmente una cóncava y otra convexâ; pero de modo que la convexídad sea mas que la concavidad, ó que el grueso sea mayor en el medio que en los extremos. Supongamos ademas que los vidrios tienen figura esférica. Hemos visto que tienen la propiedad de que expuestos al Sol, presentan detras de sí un foco que es la imágen de aquel astro, la qual está como él dotada de la propiedad de alumbrar y

quemar. Pende esto de que todos los rayos que salen del Sol y llegan á esta superficie, se reunen en un solo punto por medio de la refraccion del vidrio. Lo mismo sucede, aunque sea otro el objeto que se presenta al vidrio, y siempre resulta su imágen, que se ve en lugar del objeto mismo. Todo esto se aclarará con la figura siguiente.

Fig. 21. Sea ABCD un vidrio convexô, delante del qual hay un objeto EGF, del que nos bastará considerar los puntos E, G, F. Los rayos que del punto E dan en el vidrio, están contenidos en el espacio AEB, y la refraccion los junta en el espacio A*e*B, de manera que se reunen en *e*. Del mismo modo los rayos del punto G, que dan en el vidrio y llenan el espacio AGB, están comprehendidos en virtud de la refraccion en el espacio A*g*B, y se reunen en el punto *g*. Finalmente los rayos del punto F que dan en el vidrio, comprehendidos en el ángulo AFB se reunen por la refraccion en el punto *f*. De esta suerte se tendrá la imágen *egf*, en una situacion inversa, detras del vidrio, de manera que si hay un ojo en O detras de la imágen, creerá ver el objeto en *egf* inverso, y tantas veces menor quantas la distancia C*g* lo es respecto de CG. Para juzgar del lugar de la imágen *egf*, es necesario atender así á la forma del vidrio como á la distancia del objeto. Por lo que toca á la primera, se observará que quanto mas

convexô es el vidrio, esto es, quanto mas excede el grueso del medio CD al de los extremos, tanto mas cerca de la superficie se halla la imágen: por lo que hace á la distancia, si se acerca el objeto EF al vidrio, la imágen *ef* se aleja recíprocamente. El caso en que la imágen se halla mas cerca del vidrio, es quando el objeto está muy distante; entónces está á la misma distancia á que se hallaria la del Sol, la qual se llama el foco. Por consiguiente quando el objeto está muy distante, le imágen cae en el foco, y este se aleja tanto mas quanto se acerca el objeto al vidrio, lo que sigue una regla demostrada en la Dióptrica, mediante la qual se puede siempre señalar el lugar de la imágen, á qualquiera distancia que esté el objeto, con tal que se conozca el foco del vidrio, esto es la distancia á que reune los rayos del Sol en un espacio bastante pequeño para poder quemar los cuerpos que á él se exponen. El punto en que los rayos se reunen es, como sabemos, el lugar de la imágen. Este punto se halla facilmente por la experiencia, y de aquí toman los vidrios su denominacion, diciendo que tal vidrio tiene su foco á la distancia de una pulgada, otro á la distancia de un pie, otro á la de diez pies, y así de los demas; ó mas comunmente se dice, este vidrio tiene una pulgada de foco, ó un pie, ó diez pies. Los anteojos de larga vista requieren vidrios que tengan el

foco á mucha distancia, lo que es difícil de executar con exâctitud. Yo pagué 1800 reales por un vidrio que envié á la Academia de Petersbourg, el qual tenia el foco á la distancia de 700 pies: estoy íntimamente persuadido á que no era muy bueno; pero lo apreciaba por ser tan raro. Para manifestar á V. A. que la representacion de la imágen *egf* es real, no hay mas que poner en este lugar un papel blanco, cuyas particulas admiten diferentes especies de vibracion, de la qual dependen los colores. Entónces todos los rayos del punto E del objeto, se reunirán en *e*, y darán á la partícula del papel un movimiento de vibracion semejante al que tiene el punto E, y por consiguiente se verá el punto *e* del mismo color que E. Igualmente los puntos *g* y *f* tendrán los mismos colores que los puntos G y F del objeto, y se verán sobre el papel todos los puntos del objeto expresados con sus colores naturales, lo qual representa la pintura mas exâcta y mas bella que se puede tener del objeto. Esto se ve perfectamente en un aposento obscuro, poniendo el vidrio en un agujero hecho en una puerta ventana, con lo que se ven sobre un papel blanco todos los objetos exteriores pintados tan exâctamente, que se les puede contornear con el lapiz. Los pintores usan esta máquina, que se llama *cámara obscura*, para dibuxar los paises y sacar vistas. = A 13 de Agosto de 1760.

CARTA 41.

Ahora voy á explicar á V. A. como se hace la vision, lo que es sin disputa una de las mas bellas obras de la naturaleza que ha llegado á concebir el entendimiento. Aunque nos falta mucho para conocerla perfectamente, lo poco que sabemos sobra para convencernos del poder y sabiduría del Criador. En la estructura del ojo verémos ciertas perfecciones que el entendimiento mas claro no hubiera jamas imaginado.

Sin detenernos en la descripcion anatómica del ojo, observemos que la membrana exterior *aAb* es transparente, y se llama la *córnea*; dentro de esta hay otra *am*, *bm* circular y coloreada, que se llama el *íris*, y en cuyo medio hay una abertura *mm* que nos parece negra, y se llama la *niña ó pupila*. Detras de esta abertura está el *cristalino* *bBaC*, que es un cuerpo de una figura muy semejante á la de una lente ustoria, perfectamente transparente, y de una sustancia membranosa. Detras del cristalino, está llena la cavidad del ojo, de una gelatina transparente, llamada el *humor vítreo*: el espacio anterior entre la córnea *aAb* y el cristalino *ab*, Fig. 23.

contiene un licor fluido como el agua, por lo qual se le llama el *humor aqüeo.* Hay pues quatro materias transparentes, que han de atravesar los rayos de luz que entran en el ojo, á saber: 1.° la córnea: 2.° el humor aqüeo, entre A y B: 3.° el cristalino *b*BaC: 4.° el humor vitreo. Estas quatro materias tienen diferentes densidades, de suerte que quando los rayos pasan de una á otra, padecen una refraccion particular, y están de tal modo dispuestas que los rayos que vienen de un punto de un objeto qualquiera se reunen dentro del ojo en otro punto, y presentan una imágen. El fondo EGF del ojo que se llama la *retina*, está tapizado de un texido blanco, apto para recibir las imágenes. V. A. se acuerda, sin duda, de que es menester un fondo blanco para representar en él las imágenes. Conforme á este principio, todos los objetos, cuyos rayos entran en el ojo, se encuentran pintados en su fondo. Si se toma un ojo de buey, y se quitan las partes externas que cubren la retina, se ven pintados en ella todos los objetos con tanta exâctitud que no hay artista que pudiese llegar á tal grado de perfeccion. Para ver un objeto qualquiera, es necesario que su imágen se pinte en la retina, de modo que si por desgracia sucede que algunas de las partes del ojo se dañan ó pierden su transparencia, queda uno ciego. Pero no basta para ver los objetos, que la imagen se pinta

en la retina, pues hay personas ciegas sin embargo de eso. De esto se infiere que las imágenes pintadas en la retina, no son el objeto inmediato de la vision, y que la percepcion de nuestra alma se hace en otra parte. La retina es una red compuesta de nervios muy sutiles, que comunican con otro nervio que se llama *nervio Optico*, el qual viene del celebro, y entra en el ojo por la parte O. Los rayos de luz que forman la imágen en el fondo del ojo, agitan estos nerviecillos, y el nervio óptico transmite al celebro esta agitacion, en donde se cree que el alma recibe la percepcion. El Anatómico mas diestro no es capaz de seguir estos nervios hasta su origen; de modo que siempre será un misterio para los hombres, la union del alma con el cuerpo. = A 15 de Agosto de 1760.

ADICION.

En la carta 34 se ha dicho algo acerca de lo que el juicio suple á la vision. Este punto merece alguna mas extension, para llegar á conocer como aprendemos á ver, y manifestar el fundamento de los juicios que formamos de las percepciones de la vista. Consultemos á la experiencia, y cada uno sacará luego las conseqüencias.

El Sr. Cheselden, célebre Cirujano de Londres, observó varios ciegos de nacimien-

to, á quienes hizo la operacion de abatir la catarata, y en todos encontró casi los mismos efectos, que se reducen á los siguientes:

Hizo dicha operacion á un jóven de 13 á 14 años, quien no queria prestarse á ella, porque no imaginaba lo que podia faltarle, y decia: ¿Conoceré yo mejor, por eso, mi jardin? ¿Me pasearé en él con mas libertad? ¿No tengo la ventaja que no tienen los demas, de ir con mas seguridad por la noche? Así es que no apetecia un bien que no conocia. Si se le proponia el placer de variar sus paseos, le parecia mas cómodo permanecer en los sitios que conocia perfectamente, no comprehendiendo como, con la vista, podria guiarse en aquellos donde nunca habia estado. El único motivo que le persuadió, fué el deseo de saber leer y escribir.

Es de observar que no era tan ciego, que no distinguiese el dia de la noche: tambien discernia, á una luz fuerte, lo blanco, lo negro y lo roxo; pero sus sensaciones eran tan diferentes de las que tuvo despues, que no las reconocia.

Se le hizo pues la operacion solamente en uno de sus ojos. Luego que empezó á ver, le parecia que *los objetos tocaban á la superficie exterior de su ojo.* La razon es esta:

La imágen de los objetos se pinta en la retina; y así al principio que empezamos á ver, nos deben parecer los objetos dentro del

ojo. Antes que á este ciego le abatiesen la catarata, habria observado que la corta luz que veia, desaparecia luego que ponia la mano delante de los ojos: así pues contraxo el hábito de juzgar que estaba fuera: pero como no discernia los colores, no juzgaba que los cuerpos estuviesen á cierta distancia, ni podia discernir su grueso; y por tanto le parecian tocar inmediatamente á sus ojos. La operacion no produxo otro efecto, que hacer la luz mas viva y mas distinta, y así continuó juzgando que estaba pegada á su ojo, y no percibia mas que una superficie igual al tamaño de su ojo.

Todo lo que veia le parecia de un tamaño enorme. No habiendo su ojo comparado todavia los tamaños, no podia tener en este punto idéas relativas. No sabia pues discernir los límites de los objetos. Así es que *tardó mucho en concebir que hubiese alguna cosa mas allá de lo que veia.*

Todos los objetos le parecian en la mayor confusion, sin distinguirlos, por mas que fuesen diferentes en figura y en tamaño. Esto depende de que es menester cierto hábito, aprender á juzgar de las distancias por los colores &c. Luego que se fué acostumbrando á dar á la luz cierta profundidad, y á imaginar un espacio delante de sus ojos, fué colocando cada objeto á diferentes distancias, y empezó á juzgar de la forma y tamaño relativo de ellos.

Al principio le costaba dificultad comparar estas idéas con que no estaba familiarizado, y no imaginaba como los ojos podian juzgar de la relacion de los tamaños. No habiendo salido todavía de su quarto, decia que *bien sabia ser este menor que la casa, pero no comprehendia como esta le pareceria á la vista, mayor que aquel.* En efecto, su ojo no habia hecho todavía comparaciones de esta especie; por cuya razon, un objeto de una pulgada, le parecia tan grande como la casa.

La novedad de estas sensaciones despertaba su curiosidad, y todo lo queria ver y estudiar á la vista. Quando le mostraban algunos objetos, que ántes conocia por el tacto, los observaba con cuidado para reconocerlos otra vez á la vista; en lo que ponia tanta mas atencion *quanto no los habia reconocido ni en su forma ni en su tamaño.* Entre tantas cosas como tenia que retener, se le olvidaba la manera de ver algunos objetos, y así decia: *yo aprendo mil cosas en un dia, y olvido otras tantas.*

Algun tiempo estuvo sin tener á las pinturas por mas que unos planos de varios colores; pero al cabo de dos meses ya le pareció que representaban cuerpos sólidos, y tuvo esto por un nuevo descubrimiento. Sorprehendido, los miraba, los tocaba y preguntaba *¿qual es el sentido que me engaña? el tacto, ó la vista?*

Pero lo que le pareció mayor prodigio fué el ver un retrato de su padre en miniatura. Esto le parecia tan extraordinario como *meter un celemin en un quartillo*; esta era su expresion. La causa de su admiracion era el hábito que tenia su ojo, de unir la forma al tamaño del objeto; pues aun no se habia habituado á juzgar que estas dos cosas podian estar separadas.

Siempre nos preocupamos en favor de un objeto que nos agrada por algun respecto. Así es que *este joven quedaba sorprehendido de que las personas á quienes mas queria, no fuesen las mas hermosas; y que los manjares que mas le gustaban, no fuesen los mas agradables á la vista.*

Quanto mas exercitaba la vista, tanto mas se alegraba de haberse dexado hacer la operacion: cada nuevo objeto, decia, era para él una nueva delicia: sobre todo quedó admirado quando le lleváron á Epson, donde hay una vista hermosa y extendida. A este espectáculo le llamaba *un nuevo modo de ver*: en lo que tenia razon; porque efectivamente hay tantos modos de ver, como juicios diferentes entran en la vision.

Se observó que *lo negro le era muy desagradable*, de manera que se horrorizó la primera vez que vió un negro. Acaso era por el hábito de juzgar los hombres de otro color.

Mas de un año despues, se le hizo la

operacion en el otro ojo, con el que vió todo en grande; pero ménos que al principio. No vió los objetos dobles, segun se pintan en el fondo del ojo, sin duda porque el tacto le habia ya enseñado á discernir los objetos en su verdadero lugar.

El Sr. Cheselden observó que todos los ciegos, á quienes hizo la operacion, encontraban dificultad en dirigir los ojos á los objetos que querian ver; lo que depende de la falta de hábito en moverlos.

Estos hechos manifiestan que aprendemos á ver, y aun lo mismo sucede con los demas sentidos. Adquirimos tanta facilidad en juzgar á la vista, del tamaño, de la figura, de la distancia y situacion de los cuerpos, que luego nos cuesta suma dificultad el persuadirnos á que todo ello es fruto de la experiencia. *Traité des sensations, par Mr. l' Abbé de Condillac.* Tambien está tratado este punto en los *Elementos de Matemática de D. Benito Bails* Tom. VI. pag. 244. y siguientes.

CARTA 42.

Estoy persuadido á que V. A. tendrá gusto en contemplar conmigo mas despacio las maravillas que se descubren en la estructura del ojo. La pupila nos suministra desde luego un objeto digno de nuestra admiracion. Esta es la abertura que nos parece negra, y está en medio del íris, por la qual entran los rayos á lo interior del ojo. Quanto mayor sea, tantos mas rayos podrán entrar á formar la imágen en la retina; de modo que quanto mas abierta esté la pupila, tanto mas brillante será la imágen. Si se exâmina atentamente el ojo humano, se ve que la abertura de la pupila es unas veces mayor y otras menor. Se observa en general que se encoge quando está expuesta á una luz muy fuerte; y al contrario, está muy abierta en los parages donde hay poca claridad: variacion absolutamente necesaria para la perfeccion de la vision: porque quando hay mucha luz, y los rayos son muy fuertes, son menester ménos para conmover los nervios de nuestra retina, en cuyo caso la pupila se encoge; pues si estuviese muy abierta, y recibiese mas rayos, conmoverian demasiado

los nervios, y causarian dolor. Por esta razon no podemos mirar al Sol, sin quedar deslumbrados, y recibir un dolor bastante fuerte en el fondo del ojo. Si nos fuese posible contraher mas la pupila, para recibir una cierta cantidad de rayos, no nos incomodara; pero esta contraccion no está en nuestro arbitrio. Las águilas, que tienen esta ventaja, pueden mirar al Sol de hito en hito; y se ha observado que en tal caso contrahen la pupila tanto, que parece un punto.

Así como la suma claridad requiere qué la abertura de la pupila sea pequeñísima, así tambien quando la claridad se disminuye, la pupila se ensancha, de modo que en la obscuridad se abre hasta llegar á ocupar casi todo el íris. Si permaneciese tan cerrada como en la claridad, los rayos que entrarian, serian tan débiles, que no conmoverian los nervios lo que se necesita para sentir. Es pues necesario que los rayos entren en gran cantidad en el ojo para producir un efecto sensible. Si pudiéramos abrir aun mas la pupila, veriamos claramente en la obscuridad. Cuéntase, á este propósito, que á un hombre, que recibió un golpe en un ojo, le quedó la pupila tan ancha, que podia leer y distinguir los menores objetos en una obscuridad casi absoluta. Los gatos y otros muchos animales que van de una parte á otra en tinieblas, tienen la facultad de ensanchar la pupila mucho mas que los hombres, y al

contrario los mochuelos la tienen siempre tan abierta que no pueden sufrir un grado de claridad mediano. Observemos que la pupila del hombre no se ensancha ó encoge, mediante un acto de su voluntad, pues no es dueño de abrir ó contraher la pupila quando quiere, sinó que se contrahe quando se halla en un parage muy claro, y se dilata quando pasa á otro mas obscuro; cuya mudanza no se hace en un instante, sinó que es menester esperar algunos minutos á que se acomode á las circunstancias. Por eso habrá notado V. A. que quando pasa de repente de un parage muy claro á otro obscuro, como sucede en algunas mutaciones de teatro, no se distinguen al principio las personas; y la razon es que la pupila está aun tan estrecha, que los pocos rayos que admite, no son capaces de hacer una impresion sensible, hasta que poco á poco se ensancha, y puede recibir mayor cantidad de ellos. Lo contrario sucede al pasar repentinamente de la obscuridad á una luz muy viva: la pupila se halla entónces muy abierta, y la luz conmueve tanto la retina, que queda uno deslumbrado, y en la precision de cerrar los ojos. Esto manifiesta que es sumamente notable el que la pupila se ensanche ó encoja segun se necesita para la vision, la qual mudanza sucede casi por sí misma, sin que la voluntad tenga parte en ello. Los Filósofos, que exáminan la estructura y

las funciones del cuerpo humano, estan divididos en este punto, y no hay apariencia de que se descubra jamas la verdadera razon. Sea como fuere, esta propiedad de la pupila es muy esencial para la vision, y sin ella seria esta sumamente imperfecta. Sin embargo aun verémos otras muchas cosas que tienen igual derecho á nuestra admiracion. = A 17 de Agosto de 1760.

CARTA 43.

El principio en que está fundada la estructura del ojo, es el mismo en general que el que he explicado á V. A. de la representacion de los objetos sobre un papel blanco, por medio de un vidrio convexô. Uno y otro se reducen á que todos los rayos, que salen de un punto del objeto, se reunen de nuevo en otro punto por medio de la refraccion, y parece poco importante que la refraccion se haga por un solo vidrio, ó por tantas materias transparentes de que está compuesto el ojo. Aun se podria inferir que otra estructura mas simple que la del ojo, sin emplear mas que una sola materia transparente, hubiera suministrado las mismas ventajas, lo qual seria una

objecion bastante fuerte contra la sabiduría del Criador, que ha seguido en todas sus obras el camino mas sencillo. Efectivamente no ha faltado quienes por no haber exâminado atentamente las ventajas que resultan de esta complicacion aparente, han juzgado esta sublime obra del Ser supremo, con una ligereza vituperable, imaginando que podian dar un plan mas sencillo para la estructura del ojo, porque ignoraban muchas de las funciones de este órgano. Exâminémos este plan, para que V. A. vea que es sumamente defectuoso, é indigno de ponerse en parangon con el que hemos visto ántes.

El ojo se reduciria pues á una sola lente convexa ABCD, que uniese en un punto todos los rayos procedentes de cada punto del objeto; lo que no es enteramente cierto. La forma esférica que se da á las superficies de las lentes, tiene el inconveniente de no reunir en un mismo punto todos los rayos que pasan por su medio y las extremidades, de suerte que siempre se encuentra una diferencia casi insensible en los experimentos, quando se recibe la imágen sobre un papel blanco, pero que en el ojo haria la vision muy confusa. Para salvar esto, dicen que se podria dar otra figura á las superficies de la lente, que tuviese la propiedad de reunir de nuevo en R, los rayos que salen del punto O, sea que pasen por el medio del vidrio ó por sus bordes. Convengo Fig. 24.

en que esto es posible; pero si la lente tenia esta propiedad respecto del punto O, que está á la distancia determinada CO, no serviria para los puntos que estuviesen mas ó ménos distantes; y aun quando esto fuese posible, que no lo es, es certísimo que no se verificaria esta propiedad respecto de los objetos situados lateralmente, como en T. Por eso vemos que quando se representan los objetos sobre un papel blanco, los que caen directamente delante de la lente, como en O, están bastante claros; pero los que están situados obliquamente, como en T, están desfigurados y confusos: defecto que no puede remediar el artista mas hábil. Aun hay otro no ménos considerable. Quando hablé de los rayos de diversos colores, notamos que padecian diferente refraccion al pasar de un medio transparente á otro, de modo que los rayos roxos padecen la menor refraccion, y los violados la mayor. Si el punto O fuese roxo, y se reuniesen en R sus rayos despues de pasar por la lente AB, seria este punto el lugar de la imágen; pero si el punto O fuese violado, la reunion se haria en V mas cerca de la lente. Por consiguiente, siendo el color blanco una mezcla de todos los colores simples, si se pusiese un objeto blanco en O, formaria muchas imágenes situadas á diversas distancias del punto O, de lo qual resultaria en la retina una mancha colorada que haria confusa la imágen. Esto

se observa en la cámara obscura, quando se reciben en un papel blanco los objetos exteriores, pues se ven todos cercados de los colores del arco íris, cuyo defecto es irremediable si no se emplea mas de un cuerpo transparente. Sin embargo se ha observado que puede esto hacerse usando de diferentes materias transparentes; pero ni la teórica ni la práctica han llegado á aquella perfeccion necesaria para poder executar esto de modo que remedie todos estos defectos. Ninguna de estas imperfecciones ni otras muchas á que estaria sujeto el ojo hipotético mencionado, tienen nuestros ojos. ¡Qué idéa tan alta no debemos tener del que ha provisto no solo á los hombres sino á los demas animales, inclusos los mas viles insectos, de un órgano construido con tanta sabiduría! (*a*) = A 19 de Agosto de 1760.

(*a*) Hay pues dos especies de aberracion. La primera procede de la esfericidad de los vidrios, que hace que el foco no sea un solo punto, sinó un circulillo, la qual es sumamente pequeña respecto de la segunda, que proviene de la descomposicion que padece la luz al pasar por un vidrio prismático, y por eso en los anteojos comunes se ven los objetos con varios colores. Newton habia creido imposible remediar á este inconveniente, fundado en un experimento, que quiza fue el único en que se engañó. Leonardo Euler en 1747, reflexionando sobre la estructura del ojo, concibió que podria vencerse esta dificultad. Este gran Geómetra pensó que el ojo no estaba compuesto de materias de diferente densidad, sinó para remediar los efectos de la refrangibilidad; de lo que infirió que si se hacian

CARTA 44.

El ojo pues es superior á todas las máquinas que es capaz de producir el ingenio humano. Las diversas materias transparentes de que está compuesto, no solo tienen diferentes grados de densidad que ocasionan diferentes refracciones, sino que ademas su configuracion es tal, que todos los rayos que salen de un punto del objeto, se reunen exâctamente en otro punto, sea que el objeto esté mas ó ménos distante, sea que es-

objetivos compuestos de dos materias que tuviesen diferente fuerza refrangente, las dos aberraciones que resultarian podrian compensarse mútuamente, y remediar el defecto de la aberracion. Euler empleó para esto, dos lentes de vidrio que encerraban agua entre si; y por medio del cálculo determinó la curvatura que habian de tener las superficies interiores y exteriores, para que produxeran el efecto deseado. Mr. *Dollond* en Inglaterra, no admitió las dimensiones que daba *Euler*, fundado en la ley de refraccion que habia dado el sabio Newton, deducida del experimento que hemos dicho le habia fallado. Todas las apariencias eran de que se abandonaria la sublime idea de Leonardo Euler, hasta que *Dollond* empezó á dudar del experimento del gran Newton, y habiendolo repetido, vió que aquel gran Geómetra y Fisico se habia engañado, con lo que empezó á creer la posibi-

té situado directa ú obliquamente al ojo, y que padezcan sus rayos diferentes refracciones. Si se hiciese la menor alteracion en la naturaleza y figura de estas materias, perderia el ojo todas las ventajas que acabamos de admirar. El alcance de nuestra vista está

lidad de corregir la aberracion de refrangibilidad. Los medios de que se valió primeramente fueron los mismos que los que empleaba Euler; pero notando los muchos inconvenientes que el mismo Euler habia ya anunciado, volvio sus miras de otro lado, y despues de varias reflexiones y tentativas, hizo los objetivos, de los dos vidrios conocidos en Inglaterra con los nombres de *Flintglass* y *Crownglass*. La teoría y la práctica se han reunido despues para perfeccionar los *anteojos acromáticos*, esto es, los anteojos en que no hay aberracion, ó se ven los objetos claramente sin estar cercados de colores, y lo han conseguido hasta un punto que causa admiracion.

El *Crownglass* es nuestro cristal comun: el *Flintglass*, es un cristal mas denso. Parece que todo depende de dar á la masa del cristal mayor grado de fuego, para hacerla mas densa; y que los Ingleses no tienen un medio directo y seguro para conseguirlo, de manera que es casual el tenerlo. Dicese que la dificultad consiste en tener crisoles que resistan al grado de fuego necesario, y no se descompongan combinandose sus partes con algunas de la materia del cristal. Un Chimico de Francia ha pedido últimamente á nuestro Gobierno, algunas libras de platina para hacer crisoles grandes, y poder en ellos dar á la mezcla de las materias del cristal, el fuego necesario para condensarlo hasta el punto de tener el *Flintglass*. No faltan algunos Españoles que ya pensaban en lo mismo. Finalmente sabemos que esta materia es mas densa que el cristal comun, y al peso se conoce su calidad.

porporcionado á nuestras necesidades, y léjos de quejarnos de que los objetos distantes no están sujetos á este órgano, debemos mirarlo como el mejor don que nos ha hecho el Ser supremo. Por lo demas conviene observar que para ver los objetos distintamente, no basta que los rayos que vienen de un punto se reunan en otro, sinó que es menester tambien que este punto de reunion caiga sobre la misma retina, sin lo qual la vision seria confusa. Por consiguiente si los puntos de reunion de los rayos de objetos que están á distancia determinada, caen sobre la retina, los de los objetos mas distantes estarian ántes de la retina, y los de los objetos mas inmediatos caerian detras del ojo. Ambos casos harian confusa la imágen que se pinta en la retina. Los ojos humanos están pues acomodados á una distancia determinada. Hay personas que no ven con distincion sinó los objetos que tienen muy cerca, de las quales se dice que tienen la vista corta, ó que son *Miopes*: otras al contrario, á que llaman *Présbites*, no ven distintamente sinó los objetos muy distantes; y los que ven distintamente los objetos medianamente distantes tienen buena la vista. Sin embargo todos pueden contraher y dilatar el globo del ojo hasta cierto punto, y por este medio acercan ó alejan la retina para poder ver claramente los objetos un poco mas ó ménos distantes, lo qual es un excelente auxîlio

para la perfeccion de nuestros ojos, que en ninguna manera se puede atribuir al acaso. Los que tienen buena vista, sacan aun mas ventajas de ello, porque pueden ver por este medio, los objetos muy distantes y muy cercanos: sin embargo esto tiene sus límites, de modo que apénas habrá una persona que vea á la distancia de una pulgada, y con mayor razon, á una distancia menor. Si V. A. acercase mucho un escrito á sus ojos, veria las letras confusísimamente. Pero dexemos aquí esta materia importante, pues creo haber hablado ya de ella suficientemente á V. A. (a). = A 21 de Agosto de 1760.

(a) Los *Miopes*, ó personas que son cortas de vista, ven confusos los objetos algo distantes; porque los rayos de luz se refrangen demasiado en el ojo, y pintan la imágen ántes de llegar al fondo del ojo ó á la retina. Para este defecto se deben usar lentes ó vidrios que separen ó hagan divergentes los rayos de luz, cuya propiedad se encuentra en las concavas, que son efectivamente las que usamos los Miopes ó cortos de vista. La concavidad de estas lentes ha de ser diferente, segun sea la vista: una persona mas corta de vista que otra, necesitara una lente mas cóncava; y por eso es que las lentes acomodadas para una vista, no sirven á otra persona que es menos ó mas corta de vista.

En los *Presbitas*, los rayos de luz no padecen en el ojo bastante refraccion, y por eso la imágen de los objetos va á pintarse detras de la retina. Para este defecto, es menester usar de lentes ó vidrios convexos, que tienen la propiedad de reunir ó hacer mas convergentes los rayos. Estos vidrios son los que usan las personas que ven confusamente los objetos cerca-

CARTA 45.

No puedo negar que el sistema de los colores que he tenido el honor de presentar á V. A. (*) está muy distante del grado de evidencia á que hubiera querido llevarle. En todos tiempos, fué esta materia un escollo para los Filósofos, sin que yo me lisonjée de vencer todas las dificultades: sin embargo creo que las reflexîones siguientes disiparán gran parte de ellas.

Los Filósofos antiguos colocáron los colores entre el número de cuerpos, de que solo conocemos los nombres; y así si les preguntaban, por exemplo, porqué tal cuerpo era roxo, respondian que lo era por una qualidad que le hacia parecer roxo. V. A. comprehende claramente que esta respuesta

nos, cuyo defecto se encuentra regularmente en las gentes de alguna edad. La convexidad de estos vidrios es diferente, segun la debilidad de la vista de cada persona.

Se ve pues que los dos defectos mencionados de la vista, son enteramente opuestos; y así una lente que sirve para un Miope ó corto de vista, produce efecto contrario en un Presbite.

(*) Cartas 27, 28 y 31.

no enseña nada, y que lo mismo era confesar que se ignoraba.

Descártes, el primero que se atrevió á escudriñar los misterios de la naturaleza, atribuyó los colores á cierta mezcla de luz y de sombra; y como esta no es mas que una falta de luz, pues se halla siempre donde no puede penetrar la luz, no puede producir los diferentes colores que observamos.

Vimos ántes, que las sensaciones del órgano de la vista, las producen los rayos que dan en este órgano: por lo que es preciso que los que excitan la sensacion del color roxo, sean de naturaleza diferente de los que producen las sensaciones de otros colores; lo que da á entender, que cada color depende de cierta calidad de rayos, que conmueve al órgano de la vista. Un cuerpo nos parece roxo, quando los rayos que despide, son de tal naturaleza, que excitan en nuestros ojos la sensacion de este color.

Todo pues se reduce á buscar la diferencia entre los rayos que producen esta variedad de colores: esta diferencia ha de ser grande para producir las sensaciones particulares en nuestros ojos; pero ¿en qué podrá consistir? Esta es la qüestion á que se reduce toda nuestra indagacion.

La primera diferencia que presentan los rayos, es que unos son mas fuertes que otros. No tiene duda que los del Sol ó de otro cuerpo muy brillante ó muy alumbra-

do, son mucho mas fuertes que los de un cuerpo poco alumbrado, ó dotado de débil luz: los unos conmueven nuestros ojos de muy diferente modo que los otros.

De esto pudiera inferirse, que los diversos colores resultan de la fuerza de los rayos; de manera que los rayos mas fuertes producirán, por exemplo, el roxo; los que lo son ménos, el amarillo, y luego el verde y el violado.

Pero no hay cosa mas fácil que ver lo infundado de este sistema; porque sabemos, por experiencia, que un mismo cuerpo parece siempre del mismo color, aunque esté mas ó ménos iluminado, ó aunque los rayos sean fuertes ó débiles. Un cuerpo roxo, por exemplo, parece tan roxo, expuesto á los rayos del Sol, como en un parage en que los rayos son muy débiles. No debe pues buscarse la causa de los diferentes colores en los varios grados de fuerza de los rayos; pues así los rayos fuertes como los débiles pueden representar el mismo color. La menor claridad nos descubre tan bien la diferencia entre los colores, como la iluminacion mas activa.

Es pues preciso que haya otra diferencia entre los rayos, que caracterice su naturaleza relativamente á los colores. V. A. pensará sin duda que, para descubrir esta diferencia, era menester conocer mejor la naturaleza de los rayos luminosos, ó aquello

que llega á nuestros ojos, y nos hace visibles los cuerpos: esta definicion de un rayo es la mas exâcta; porque en efecto no es otra cosa que lo que entra por la pupila en el ojo, y excita en él la sensacion.

Ya dixe que no hay mas de dos sistemas ó teorías para explicar el orígen y la naturaleza de los rayos: el uno es de Newton, quien los cree emanaciones del Sol y de los demas cuerpos luminosos: el otro es el que he expuesto á V. A., y del que me tienen á mí por autor, aunque otros hayan tenido casi las mismas idéas. Acaso yo he logrado darle alguna mas evidencia. De todos modos, será útil mostrar, en uno y otro sistema, el principio en que se podrá fundar la diferencia entre los colores.

En el sistema de la emanacion, en que se supone que los rayos salen de los cuerpos luminosos en forma de arroyos, ó mejor de chorros de agua, lanzados hácia todas partes, se pretende que las partículas de la luz se diferencian en grueso ó en materia, así como un chorro podria dar vino, aceyte y otros líquidos; de manera que los diferentes colores provienen de la diversidad de las materias sutiles, que emanan de los cuerpos luminosos. El color roxo, seria pues cierta materia sutil, lanzada por el cuerpo luminoso; y del mismo modo el color amarillo y los demas. Esta explicacion mostraria con bastante claridad, el orígen de los

diversos colores, si este sistema se pudiera admitir; pero de esto hablaré mas largamente á V. A. en mi primera carta. = A 2 de Junio de 1761.

ADICION.

La explicacion que da Newton de los colores merece saberse, pues se funda en experimentos dignos de atencion.

En la puerta ventana de un aposento muy obscuro, se hace un agujero redondo, por donde entre un rayo de Sol. Si se recibe este en un papel, á cierta distancia del agujero, se ve en él un círculo de luz. Si se toma un prisma triangular de vidrio, y se pone delante del rayo solar, este se refrange, y forma una imágen prolongada, cuyos lados son rectilíneos y sus extremos redondos. La imágen se termina por los lados con bastante distincion; pero en los extremos es muy confusa, debilitándose allí la luz por grados, ántes de desaparecer del todo. Esta imágen está dividida en faxas de varios colores, contándose principalmente los siguientes en este órden: *roxo*, *naranjado*, *amarillo*, *verde*, *azul*, *añil y violado*, con una multitud de medias tintas entre ellos.

De este y otros muchos experimentos, infirió Newton que la luz del Sol se compone de rayos de diversos colores, de los quales son unos *mas refrangibles* que otros:

que los rayos roxos son los ménos refrangibles, y los demas por el órden que se han expresado.

Si este efecto procediese de que el prisma dilataba la imágen y esparramaba los rayos, en poniendo otro prisma en direccion perpendicular al primero, deberia resultar una imágen quadrada. Pero no sucede así; la latitud de la imágen es la misma; y la única mudanza que padece es ser inclinada, como debe serlo en virtud de las dos refracciones. Newton colocó varios prismas á fin de que los rayos padeciesen varias refracciones, y halló constantemente, que el ancho de la imágen no varió, y que los rayos que padecian en el primer prisma mayor refraccion, la padecian tambien mayor en los demas.

Si cada uno de estos rayos de un color simple, pasa por un prisma, no vuelve á formar colores, sino que permanece el mismo. Si por medio de una lente ustoria, se reunen todos estos rayos de diversos colores, se vuelve á tener la luz conforme viene del Sol. Todo cuerpo, de qualquier color que sea, presentado á un rayo roxo, se ve roxo; si le da un rayo verde, se ve enteramente verde, y así de los demas.

De esto infiere Newton que la diferencia de colores que notamos en los cuerpos, proviene de los diferentes rayos que componen la luz. Un cuerpo parece, por exem-

plo, azul, porque los rayos que reflexa son azules, y así de los demas.

Newton halló tambien que lo largo de las faxas coloreadas que componen la imágen mencionada, están en la misma proporcion que los tonos ó sonidos que componen la octava. Este es el fundamento que hay para comparar los siete colores con los siete tonos de la Música, como lo hace Euler en varias partes. De donde puede inferirse que la mezcla de varios colores, producirá un color compuesto mas ó ménos agradable, segun la proporcion que haya entre los primeros.

Todos estos experimentos y los demas que hizo Newton en la materia de colores, son de mucho peso; y aun quando no se admita su opinion de que la luz emana del Sol, parece que, no obstante, se deberia mirar el fluido, que produce la luz, como compuesto de otros diferentes.

Los experimentos referidos dan razon de los colores que se ven, al mirar por un anteojo comun. Esta misma refraccion de los rayos de luz que produce los colores, es la que tambien forma el *arco íris*. La luz se refrange en las gotas de agua que caen, y se separa en los mismos colores que se ven por la refraccion del prisma: así es que nunca se ve el arco íris, sino quando por una parte llueve, y por otra vienen los rayos del Sol á herir las gotas, no estando este astro

muy elevado sobre el horizonte. Así tambien, en algunas fuentes que arrojan el agua á mucha altura, y luego cae esparcida en gotas, se suele ver un arco íris, si el Sol está á competente altura.

Tambien se atribuye á la refraccion de la luz, la formacion de aquellos círculos de colores que se ven á veces al rededor del Sol, de la Luna y otros planetas. Creese que los vapores y demas, que nadan en el ayre, pueden refringir la luz, y producir estos fenómenos que llaman *coronas*.

Muchas veces nos sucede, que despues de haber estado por la noche leyendo ó escribiendo largo tiempo, vemos al rededor de la luz un círculo de colores; lo que tambien procede de la refraccion de la luz en el humor que carga á los ojos.

CARTA 46.

V. A. se acuerda de las objeciones que puse al sistema de la emanacion de la luz (*). A mí me parecen tan poderosas, que no me permiten admitir este sistema; y así es que he logrado convencer á muchos Físicos dis-

(*) Cartas 17 y 18.

tinguidos, quienes han adoptado mi sistema con mucha satisfaccion.

Los rayos de luz no son pues una emanacion del Sol, y de los demas cuerpos luminosos, ni consisten en una materia sutil, lanzada por el Sol, y que llega á nosotros con la rapidez que habrá asombrado á V. A. Si los rayos no gastasen mas de ocho minutos en venir del Sol hasta nosotros, formarian un torrente terrible, y por mas grande que fuese la masa de este astro, llegaria pronto á agotarse.

Segun mi sistema, los rayos del Sol, que acá sentimos, no vienen inmediatamente de este astro; sinó que son las partículas del *éter*, á las quales ha comunicado el Sol un movimiento de vibracion, y por consiguiente mudan poco de lugar en este movimiento.

Esta propagacion de la luz se hace de un modo semejante á la del sonido. Una campana, cuyo sonido oye V. A., no despide partículas que entren en sus oidos: no hay mas que tentarla, quando suena, para asegurarse de que todas sus partes se hallan en un estremecimiento sensible. Esta agitacion se comunica á las partículas del ayre, de modo que todas reciben sucesivamente un movimiento semejante de vibracion, el que llegando al oido, excita en él la sensacion del sonido. Las cuerdas de un instrumento músico, no dexan la menor duda en este particular: se las ve temblar, ir y ve-

nir; y aun se puede determinar, por el cálculo, quantas veces vibra cada cuerda en un segundo. Comunicada esta agitacion á las partículas del ayre inmediatas al oido, este es conmovido por igual número de golpecillos en cada segundo; y la percepcion de este estremecimiento es lo que constituye la naturaleza del sonido. Quanto mayor es el número de vibraciones que hace la cuerda en un segundo, tanto mas alto ó agudo es el sonido: las vibraciones ménos freqüentes producen sonidos mas graves.

Las circunstancias que acompañan á la sensacion del oido, se hallan, de un modo enteramente análogo, en la de la vista: no hay mas diferencia que en el medio y en la rapidez de las vibraciones. Por lo que toca al sonido, las vibraciones de los cuerpos sonoros se transmiten al traves del ayre; pero respecto de la luz se transmiten por el éter, ó por este medio mas sutil y elastico, sin comparacion, que el ayre, esparcido por donde quiera que el ayre y los demas cuerpos dexan intersticios.

Siempre pues que el éter es puesto en vibracion, y es transmitido á los ojos, excita en ellos el sentimiento de la vision, que entónces no es mas que un estremecimiento semejante, con que son agitadas las fibras nerviosas mas pequeñas del fondo del ojo.

V. A. concebirá fácilmente que debe ser

diferente la sensacion, segun es mas ó ménos freqüente aquel estremecimiento; ó segun es mayor ó menor el número de vibraciones que se hacen en un segundo. De esto debe resultar una diferencia semejante á la que se encuentra en los sonidos, quando las vibraciones son mas ó ménos freqüentes; la qual es muy sensible á nuestro oido, pues de ella depende el caracter de los sonidos respecto al grave y al agudo. V. A. se acuerda de que el sonido señalado C en el clave, hace unas 100 vibraciones en un segundo, el sonido D, 112; el sonido E, 125; el sonido F, 133; el sonido G, 150; el sonido A, 166; el sonido B, 187; y el sonido C, 200. Depende pues la naturaleza de los sonidos, del número de vibraciones que se hacen en un segundo.

No es dudoso que el sentido de la vista sea conmovido de un modo quando es mayor el número de vibraciones de las fibras nerviosas del fondo del ojo, y de otro quando es menor. Quando estas fibras vibran 1000 veces en un segundo, la sensacion será diferente de quando vibren 1200 ó 1500 veces en el mismo tiempo.

Es cierto que el órgano de la vista no puede contar estos grandes números, mucho ménos que contaria nuestro oido las vibraciones que constituyen los sonidos; pero siempre podemos distinguir el mas y el ménos.

En esta diferencia debemos pues buscar la causa de la diversidad de colores; y es cierto que cada uno de ellos corresponde á cierto número de vibraciones, que conmueven las fibras de nuestros ojos en un segundo, aunque no podamos determinar el número correspondiente á cada color, como lo hacemos en los sonidos.

Para llegar á conocer los números correspondientes á todos los sonidos del clave, han sido necesarias muchas indagaciones, no obstante de estar convencidos de que su diferencia depende de la de estos números. Nuestros conocimientos en estos puntos, están muy adelantados; pues sabemos la grande harmonía que reyna entre los sonidos del clave y los colores; y las circunstancias de lo uno sirven para aclarar las de lo otro. Esta analogía es la que suministra las pruemas convincentes de mi opinion; pero apoyaré mi sistema de los colores, en razones todavia mas sólidas, que lo pondrán al abrigo de qualquier duda. = A 6 de Junio de 1761.

CARTA 47.

Nada mas á propósito para aclararnos la naturaleza de la vision, que la analogía que se encuentra entre ella y el oido. Los colores son respecto de la vista, lo que los sonidos respecto del oido: aquellos se diferencian entre sí, como los sonidos graves y agudos. Sabemos que lo grave y agudo en los sonidos, depende del número de vibraciones que conmueve al órgano del oido durante un cierto tiempo; y que la naturaleza de cada uno consiste en cierto número, que señala las vibraciones hechas en un segundo: de esto infiero yo, que cada color depende tambien del número de vibraciones que obran en la vision, con la diferencia de que las vibraciones que producen los sonidos, residen en el ayre ordinario, y las de la luz y de los colores se transmiten por un medio sin comparacion mas sutil y elastico. Lo mismo diré de los objetos de uno y otro sentido: los del oido son todos los cuerpos aptos para dar sonidos, esto es, capaces de un movimiento de vibracion ó de un estremecimiento, que comunicándose al ayre, excita en el órgano el sentimiento de un sonido,

correspondiente á la rapidez de las vibraciones.

Tales son los instrumentos de música; y aplicando esto principalmente al clave, se atribuye cierto sonido á cada cuerda, que lo produce quando es tocada. Una cuerda se llama C, otra D, y así de las demas. Se llama C una cuerda, quando es tal su tension y su estructura, que si se la toca, hace unas 100 vibraciones en un segundo: y si en el mismo tiempo, hiciese mas ó ménos, tendria el nombre de otro sonido mas agudo ó mas grave.

V. A. tiene presente que el sonido de una cuerda depende de estas tres cosas: de su largo, de su grueso, y de la fuerza de su tension: quanto mas tirante está, tanto mas agudo es el sonido; y miéntras conserva la misma disposicion, conserva tambien el mismo sonido; pero este se muda, si la cuerda padece alguna variacion.

Apliquemos esto á los cuerpos, en quanto son objetos de nuestra vista. Las menores partículas, que componen el texido de su superficie, pueden mirarse como cuerdas tirantes, en quanto están dotadas de cierto grado de resorte y de masa; de manera que en siendo chocadas, toman un movimiento de vibracion, haciendo cierto número de ellas en un segundo; de cuyo número depende el color que atribuimos á este cuerpo: es roxo, quando las partículas de su superficie tienen tal tension que, siendo con-

movidas, hacen precisamente tantas vibraciones en un segundo, como son menester para excitar en nosotros la sensacion de este color. Otro grado de tension que produxera vibraciones mas ó ménos rápidas, excitaria la sensacion de otro color, y el cuerpo seria entónces amarillo, verde &c.

No hemos llegado á señalar á cada color el número de vibraciones que constituyen su esencia, ni sabemos aun quales son los colores que piden mayor ó menor rapidez en las vibraciones, ó por mejor decir, no está averiguado qué colores corresponden á los sonidos graves y á los sonidos agudos. Basta saber que cada color depende de cierto número de vibraciones, aunque este no sea conocido; y que no es menester mas que mudar la tension ó resorte de las partículas que forman la superficie de un cuerpo, para hacerle mudar de color.

Vemos que los colores mas hermosos de las flores, cambian y se desvanecen por falta de la savia; y que sus partículas pierden su tension ó su vigor. Esto es lo que tambien se observa en todas las demas mudanzas de color.

Para aclarar mas esto, supongamos que para la sensacion del color roxo, se necesite tal rapidez en las vibraciones, que se hagan 1000 en un segundo: que el naranjado requiera 1125; el amarillo 1250; el verde, 1333; el azul, 1500; y el viola-

do, 1666. Aunque estos números sean supuestos, nada importa para nuestro objeto; y todo lo que diga de ellos, se verificará del mismo modo en los verdaderos, si algun dia se descubren.

Un cuerpo será pues roxo, quando las partículas de su superficie hagan 1000 vibraciones en un segundo: otro cuerpo será naranjado, quando sus partículas estén dispuestas para hacer 1125 vibraciones en un segundo, y así de los demas. De esto se deduce, que habrá una infinidad de colores medios, entre los seis principales mencionados; y tambien se ve que si las partículas de un cuerpo hacen 1400 vibraciones por segundo, tendrá un color medio entre el verde y el azul, pues el verde corresponde al número 1333, y el azul al 1500. = Á 9 de Junio de 1761.

ADICION.

Esta comparacion entre los colores y los tonos de la octava está fundada en la observacion de Newton, que se ha referido en la *adicion* á la Carta 45. No ha faltado quien creyese encontrar la misma relacion entre los tonos de la octava y los olores y sabores, mas no con aquel fundamento que se requiere en el asunto. Como quiera diré algo acerca de esto, aunque no sirva mas que de mera curiosidad.

El Autor de la *nueva chímica del pa-*

ladar y del olfato (*a*), cuya obra es un arte de hacer licores y aguas de olor, sienta por principio, que lo agradable de los rosolis y demas licores, depende de la mezcla de los sabores en una proporcion harmónica. „Los sabores, dice, consisten en las vibra„ciones mas ó ménos fuertes de las sales, „que obran en el paladar, al modo que los „sonidos consisten en las vibraciones del ay„re, que obran en el sentido del oido" Dice pues que hay siete sabores primitivos, de cuya mezcla resultan los demas, y así como hay en la combinacion de los sonidos sus consonancias y disonancias, del mismo modo debe haberlas en la mezcla de los sabores. Por lo que hace á los sabores primitivos cree que son los siguientes.

Acido.	Insípido.	Dulce.	Amargo.	Agri-dulce.	Austero.	Picante.
ut.	re.	mi.	fa.	sol.	la.	si.

Así como en los sonidos, las terceras y quintas forman consonancias agradables, del mismo modo sucederá en los sabores. Si se mezcla el ácido con el agri-dulce, dice este Autor, el limon por exemplo con el azúcar, se tendrá una quinta mayor, que es una consonancia muy agradable. Si se mezcla el agri-dulce con el picante, la consonancia será ménos agradable, por ser tercera me-

(*a*). Está impresa en Paris, año de 1774.

nor; pero si se sube ó baxa medio tono, qualquiera de los dos sabores, lo que equivale al diesis ó al bemol, se notará gran variacion.

Si se hace resonar un cuerpo sonoro, dice este Autor, se oye, ademas del sonido principal y su octava, otros dos sonidos que son la 12ª y la 17ª del sonido principal. Lo mismo sucede en los sabores: el azúcar, por exemplo, tiene algo de picante: el limon participa del ácido, del dulce, del picante y del amargo.

Este Autor hizo un órgano, cuyo teclado podia producir sonidos, al mismo tiempo que abria ciertos frascos llenos de líquidos, que eran de los sabores mencionados, los quales corrian á depositarse en un vaso. Tocaba en este órgano una composicion música, y le resultaba, al mismo tiempo, una composicion de los líquidos, muy agradable al paladar; pero si tocaba el teclado sin órden, formando disonancias sin enlace ni regularidad, le salia una mezcla de líquidos, que no se podia gustar.

Observa tambien que estando unidos el paladar y el olfato, pues tienen una misma membrana, no se ha de considerar el uno sin atender al otro; de manera que es menester que los licores no solo sean de buen gusto, sinó que tengan buen olor.

He dicho ya que no refiero estas observaciones, sinó como asunto de curiosidad; pero no obstante creo que no son de des-

preciar, y que pueden dar ocasion á otras indagaciones mejor fundadas, acerca de esta especie de semejanza que hay entre las sensaciones de cada sentido, la que pudiera hacernos *conjeturar* la posibilidad de un fluido, ó de una causa general, que, con ciertas modificaciones, produxese el sonido obrando en el oido, la luz obrando en los ojos, el sabor obrando en el paladar &c.

CARTA 48.

V. A. no hallará ninguna dificultad en la definicion que acabo de dar de los colores. Las partículas de sus superficies están siempre dotadas de cierto grado de resorte, que las hace susceptibles de movimiento de vibracion, así como una cuerda es siempre susceptible de cierto sonido; y el número de vibraciones que las partículas son capaces de hacer en un segundo, es lo que determina la especie del color.

Si las partículas de la superficie no tienen bastante resorte para esta agitacion, el cuerpo será negro; pues este color no es otra cosa que la falta de luz, y nos parecen negros todos aquellos cuerpos que no envian á nuestros ojos ningunos rayos.

Vengo ahora á una qüestion importante, en que pudiera V. A tener algunas dudas. Se pregunta ¿ quál es la causa del movimiento de vibracion, que constituye los colores de los cuerpos?

Todo se reduce en efecto á descubrirla; porque luego que las partículas de los cuerpos se hallen puestas en movimiento, el éter esparcido en el ayre, recibirá igual agitacion, la que continuada hasta nuestros ojos, constituye lo que llamamos rayos, de donde procede la vision.

Observo pues que las partículas de los cuerpos no se ponen en movimiento por sí mismas, sino por una fuerza exterior, del mismo modo que una cuerda tensa permaneciera siempre en reposo, si alguna fuerza no la moviese. Este es el caso de todos los cuerpos en las tinieblas; porque una vez que no los vemos, es prueba cierta de que no producen rayos, y de que sus partículas están en reposo; quiero decir, que durante la noche, se hallan los cuerpos en el mismo estado que las cuerdas de un instrumento, que no está tocado, y no da ningun sonido: en lugar que quando los cuerpos son visibles, se pueden comparar á cuerdas cuyos sonidos se oyen.

Y pues los cuerpos se hacen visibles desde el instante en que están iluminados, ó que los rayos del Sol ó de otro cuerpo luminoso dan en ellos, es preciso que la mis-

una causa que los ilumina, excite sus partículas á formar rayos, y á producir en nuestros ojos el sentimiento de la vision. Por consiguiente, los rayos de luz, al dar sobre los cuerpos, ponen sus partículas en vibracion.

Esto parece á primera vista algo extraordinario; porque si exponemos nuestras manos á la luz mas viva, no por eso sentimos la mas leve impresion. Es menester atender á que el sentido del tacto es demasiado grosero en nosotros, para sentir estas impresiones sutiles y ligeras; pero que el de la vista, mas delicado sin comparacion, es conmovido vivamente por ellas: lo que nos suministra una prueba irrefragable de que los rayos de luz que caen sobre un cuerpo, tienen bastante fuerza para obrar sobre las menores partículas y hacerlas estremecer. En esto estriba cabalmente la accion necesaria para explicar el cómo los cuerpos, luego que están iluminados, se hallan en estado de producir por sí mismos, rayos, por cuyo medio se nos hacen visibles. Basta que los cuerpos sean luminosos, ó estén expuestos á la luz, para que sean agitadas sus partículas, y por este medio produzcan ellas mismas los rayos que nos los hacen visibles.

La perfecta analogía entre el oido y la vista, da á esta explicacion el mayor grado de verosimilitud. Expóngase un clave á un gran ruido, y no solamente se verá que sus cuerdas se ponen en vibracion, sinó se oirá

el sonido de cada una, casi del mismo modo que si efectivamente estuviese tocada. El mecanismo de este fenómeno es fácil de comprehender, desde el punto en que se sabe que una cuerda agitada es capaz de comunicar al ayre el mismo movimiento de vibracion, que, transmitido al oido, excita en él el sentimiento del sonido que hace la cuerda.

Del mismo modo que una cuerda produce en el ayre este movimiento, así el ayre debe hacerla temblar. Y así como un ruido es capaz de poner en movimiento las cuerdas de un clave y producir en ellas sonidos, del mismo modo debe suceder respecto de los objetos que vemos.

Los cuerpos coloreados son semejantes á las cuerdas de un clave, y los colores son comparables á los sonidos respecto de lo grave y agudo. Siendo la luz que cae sobre los cuerpos, análoga al ruido á que el clave está expuesto, obra sobre las partículas de su superficie, como el ruido obra sobre las cuerdas del clave; y puestas de esta manera en vibracion estas partículas, producirán rayos, que nos harán visibles los cuerpos.

Esta ilustracion me parece disipará todas las dudas que V. A. podria tener de mi sistema de los colores. Me lisonjeo á lo ménos de haber manifestado el verdadero principio de todos los colores, que explica cómo se nos hacen visibles por sola la luz con que están iluminados los cuerpos; á ménos que

las dudas sean acerca de algun otro artículo que yo no haya tocado. = A 13 de Junio de 1761.

ADICION.

Para dar fin á la materia de los colores, me parece conveniente decir algo de los experimentos y de la opinion del Caballero *Diego de Carvalho é Sampayo*, que ha escrito sobre este asunto una Memoria en Portugues (*a*). Se deben apreciar todos los hechos, que juntos podrán un dia aclararnos esta materia. Muchas personas, por pereza, ó no sé por qué, creen y adoptan la primera explicacion que se les presenta de los fenómenos naturales, ó la que está adoptada generalmente, despreciando todo lo demas, que se puede oponer á la satisfaccion que encuentran en creer que ya lo saben; y de esta suerte se impiden los progresos de las ciencias. Seamos mas francos en confesar nuestra ignorancia, y así lograrémos saber mucho mas.

El Caballero Carvalho habia ya dado á conocer su modo de pensar en materia de colores en una obra impresa en Malta en 1787, con el título de *Tratado de los colores*, y cuyo objeto son los colores para la

(*a*) Memoria sobre á formaçao natural das Cores: por Diogo de Carvalho e Sampayo. Madrid, na officina typografica da Viuda de Ibarra 1791.

pintura. Tambien habló de ello en otras obras suyas, y en particular en sus *Elementos de Agricultura*, publicados en Madrid, por los añosde 1790 y 1791; donde dice: „La luz, „tomada como elemento, no es un cuerpo „simple, sinó compuesto de principios en- „tre sí diversos. Un fluido acromático, suti- „lísimo y diáfano, forma su basa; y una „materia coloreada, heterogénea y opaca, „nada continuamente en este fluido.

„La materia coloreada es de dos suertes: „la una, capaz de excitar en nosotros la „sensacion del color *roxo*; y la otra, capaz „de producir la sensacion del color *verde*. „Todos los demas colores, que se ven en „la luz, son compuestos de estos dos, y „deben reputarse por meros resultados de „su recíproca combinacion con la materia „acromática, en un estado de mayor ó me- „nor densidad.“

Formada yá una idéa del modo de pensar del Sr. Carvalho en este punto, veamos algo de sus experimentos, que son muy singulares.

„Hallándome en Lamego, á fines de Di- „ciembre de 1788, dice el referido Carval- „ho, y entrando en un quarto, ví sobre „la pared, diferentes reflexos *verdes* y *ro- „xos*; y buscando la luz que los producia, „hallé que era la del Sol, que entraba por la „ventana, y daba en la pared opuesta y en „el paño verde de una mesa, interponiéndo-

„se una silla, á cuya sombra correspondian „los reflexos *roxos* y *verdes*.

„Aparté la silla de suerte que no hu„biese cuerpo alguno interpuesto, y al pun„to desapareciéron los colores. Interpuse un „baston que traia en la mano, y se formá„ron luego los mismos colores; y observé „que el color *roxo* correspondia al reflexo „del paño *verde*; y el color *verde* á la parte „de la pared en que daba el Sol.

„Levanté el paño de la mesa, de suerte „que el Sol diese solamente en la pared, y „tambien desapareciéron los colores, resul„tando de los cuerpos interpuestos una me„ra sombra obscura. Hice que el Sol diese „solamente en el paño sin dar en la pared, „é igualmente desapareciéron los colores; re„sultando de los cuerpos interpuestos la mis„ma sombra obscura, que producia la luz „reflexa de la pared blanca.

„Al hacer estos experimentos, observé „que los colores eran mas vivos quando el „aposento estaba mas obscuro, y quando „los reflexos eran mas fuertes que la luz na„tural; y que aquellos se diluian, y lle„gaban á desvanecerse, quando la luz na„tural, que se dexaba entrar por otras venta„nas ó por la puerta, vencia en fuerzas á los „reflexos.

„Como del reflexo *verde* resultaba un „color *roxo*, quise ver qué color resultaria „de un reflexo *roxo*. Quité otra vez el pa-

„ño verde de la mesa, y me situé de mo-„do que parte del Sol que entraba en el „aposento, diese en la pared blanca, y otra „parte cayese en un faldon de mi casaca, „que era de uniforme de Malta, de un her-„moso escarlata. Observando los reflexos en „la pared, los ví otra vez *roxos* y *verdes*; „correspondiendo el color *verde* al reflexo „*roxo*, y el roxo á la luz de la pared.

„Repitiendo diversas veces esta observa-„cion en diferentes dias, y hallando siem-„pre los mismos resultados, mas ó ménos „sensibles, segun los diferentes grados de in-„tensidad de la luz, y fuerza de los refle-„xos, pensé para mí: que la luz del Sol era „un fluido acromático, con la propiedad, „como el agua, de poder teñirse de todos „los colores; y que, en este fluido, nada-„ban algunas partículas coloreadas y sutilí-„simas, las quales, tiñendo la luz de diver-„sos modos, formaban, por medio de la re-„fraccion de los reflexos y de la inflexîon, „todos los colores que se ven en los cuerpos „naturales y en la luz coloreada.

El Señor Carvalho ha hecho una porcion de experimentos muy curiosos, que seria largo referir; pero que son dignos de atencion; y quando no se admitan las consequiencias que saca, no parece muy fácil el explicarlos.

CARTA 49.

Ahora voy á hablar á V. A. de la propiedad general de todos los cuerpos, que es la *gravedad*. Vemos que todos ellos, sean sólidos ó fluidos, caen si no están sostenidos. Si tengo una piedra en la mano y la suelto, cae al suelo, é iria mas allá si hubiese un agujero en la Tierra. El papel en que estoy escribiendo, se caeria al suelo si la mesa no lo sostuviese. Lo mismo sucede con todos los cuerpos que conocemos, sin que haya uno que no cayera, en dexando de estar sostenido ó detenido. La causa de este fenómeno, ó de esta propiedad, se llama *gravedad*; de suerte que quando se dice que todos los cuerpos son *graves* ó *pesados*, queremos decir, que tienen propension á caer, y caerán efectivamente en quitando lo que los sostiene. Los antiguos no conociéron bien esta propiedad, y creian que habia cuerpos que, por su naturaleza, procuraban subir, como el humo y los vapores, á los quales diéron el nombre de *leves*, para distinguirlos de los que procuran baxar. Pero en estos últimos tiempos, se ha reconocido que el ayre hace subir estas materias, porque en un espacio

vacío, como se tiene por medio de la máquina pneumática, el humo y los vapores descienden, del mismo modo que una piedra, y, por lo mismo, son por su naturaleza pesados como esta. Quando estas materias se levantan en el ayre, están en el mismo caso que un madero en el agua, el qual aunque pesado, sube y sobrenada en dexándolo en libertad, por ser ménos pesado que el agua, y por la regla general de que todos los cuerpos suben en un fluido ménos pesado que ellos. Si en un vaso lleno de azogue, se echan algunos pedazos de hierro, cobre, plata y aun plomo, se les ve sobrenadar, y suben por sí mismos si se les sumerge: el oro solo, que es mas pesado que el azogue, se va al fondo. Una vez que hay cuerpos que suben en el agua ó en otro fluido á pesar de su gravedad, por la razon de ser ménos pesados, no es extraño que haya otros ménos pesados que el ayre, que asciendan en él, como sucede con el humo y los vapores. Ya vimos en otra parte que el ayre es pesado, y por eso sostiene el azogue en el barómetro. Por tanto, quando decimos que todos los cuerpos son pesados, se entiende que todos ellos, sin excepcion, descenderian en un espacio vacío de ayre. Puede añadirse que caen con igual rapidez; porque una moneda y una pluma caen con la misma velocidad, en un recipiente del qual se ha extrahido el ayre. Podria objetarse, á

esta propiedad general de los cuerpos, que una bomba despedida de un mortero, no cae al instante al suelo, como una piedra que soltamos de la mano, sinó que sube por el ayre; pero de esto no puede inferirse que no es pesada, porque es evidente que la fuerza de la pólvora impele la bomba hácia arriba, sin lo qual caeria seguramente al instante; y aun ya vemos que no sube mas que á cierta altura, y luego que cesa la fuerza que la impelia, cae rápidamente, lo qual prueba su gravedad. De consiguiente, quando se dice que todos los cuerpos son graves, no se niega que se les puede detener, ó impeler hácia arriba; pero esto lo hace una fuerza extraña, y siempre es cierto que un cuerpo qualquiera, abandonado á sí mismo, y en reposo, caerá al punto que dexe de estar sostenido. Debaxo de mi aposento hay un sótano; pero el suelo me sostiene, y me impide que caiga. Si el suelo se pudriese repentinamente, y al mismo tiempo se hundiese la bóveda de mi sótano, me precipitaria en el infaliblemente, porque mi cuerpo es pesado como lo son todos los que conocemos. Digo *todos lo que conocemos*, porque quizá habrá algunos que no lo sean, y de ellos podrian ser la luz, el fuego elemental, el fluido eléctrico, y el del iman. Exceptuando pues estos cuerpos, cuya gravedad no está probada por la experiencia, se puede mirar la gravedad como una propiedad

general de todos los cuerpos conocidos, mediante la qual tienen todos propension á caer, y caen efectivamente quando no hay nada que lo impida. = A 23 de Agosto de 1760.

CARTA 50.

Acabamos de ver que la gravedad es una propiedad general de todos los cuerpos conocidos, la qual consiste en una fuerza invisible que los impele hácia abaxo. Los Filósofos disputan, si exîste una fuerza que obre de un modo invisible en los cuerpos, ó si es una qualidad interna contenida en la naturaleza misma de los cuerpos, y como un instinto natural que los determina á descender. Esta qüestion se reduce á saber, si la causa de la gravedad está en la naturaleza misma de cada cuerpo, ó si exîste fuera de ellos, de modo que si faltase, dexaria el cuerpo de ser grave. Antes de emprender resolverla, conviene exâminar atentamente las circunstancias que acompañan á la gravedad. Desde luego se ve que, si se sostiene un cuerpo para que no caiga, si se pone sobre una mesa, esta experimenta una presion igual á la fuerza con que aquel procuraria caer; y quando se suspende el cuerpo de

un hilo, este está tirante por aquella fuerza, esto es, por la gravedad del cuerpo, de suerte que si el hilo no fuese bastante fuerte, se romperia. Vemos pues que todos los cuerpos exercen cierta fuerza sobre los obstáculos que los sostienen é impiden el caer, y que esta accion es la misma que la que haria baxar al cuerpo si estuviese libre. Una piedra puesta sobre una mesa la comprime, y para convencerse de ello, no hay mas que poner la mano entre la piedra y la mesa, y se sentirá su fuerza, la qual se llama el *peso*; y es claro que el peso y la gravedad de un cuerpo significan la misma cosa, pues uno y otro indican la fuerza que lo impele hácia abaxo, sea que exîsta en el cuerpo mismo, ó fuera de él. Como la idéa que tenemos del cuerpo es tan clara, me parece inútil detenerme mas: solo diré que quando se juntan dos cuerpos, el peso aumenta, de suerte que el peso del compuesto es igual á la suma de los componentes; de donde se sigue, que los pesos de los cuerpos pueden variar muchísimo. Hay un medio muy seguro de compararlos y medirlos con exâctitud, valiéndose de unas balanzas, que tienen la propiedad de quedar en equilibrio, quando son iguales los pesos colocados en sus platillos. Para esto se toma una medida fixa, que es un cierto peso como una libra, y con una buena balanza se pueden pesar todos los cuerpos y señalar el número de li-

bras que pesa cada uno. Para poner un cuerpo muy grande en uno de los platillos, se le hace pedazos, se pesa cada parte, y despues se suman todas. De este modo se podria hallar el peso de toda una casa, por grande que fuera.

V. A. habrá observado, que un pedacito de oro pesa tanto como un pedazo de madera mucho mayor; lo que prueba que el peso de los cuerpos no es proporcional al tamaño, pues un cuerpo muy pequeño puede tener mucho peso, miéntras que otro mayor pesa muy poco. Por consiguiente, cada cuerpo admite dos medidas enteramente diferentes: una determina su magnitud ó extension, que tambien se llama *volúmen*, lo que pertenece á la Geometría: otra, diferente de la primera, determina el peso, y sirve para distinguir la naturaleza de las materias de que están formados los cuerpos. Imagine V. A. muchas masas de diversas materias, todas del mismo tamaño, de modo que cada una tenga, por exemplo, un pie de longitud, latitud y profundidad. Si este volúmen fuese de oro, pesaria 1425 libras: si fuese de plata, 820 libras: si de hierro, 532 libras: si de agua, 75 libras; y si fuese de ayre, no pesaria mas que la dozava parte de una libra; en lo qual ve V. A. que las materias de los cuerpos difieren considerablemente en gravedad. Usanse para expresar esta diferencia, varios términos, que parecen

equívocos quando no se entienden bien: por exemplo, quando se dice que el oro es mas pesado que la plata, no hemos de entender que una libra de aquel pesa mas que una libra de esta; porque una libra de qualquiera materia es siempre una libra, y tiene siempre el mismo peso; sinó que si hay dos pedazos de un mismo tamaño, uno de oro y otro de plata, el peso del primero será mayor que el del segundo; de manera que quando se dice que el oro es 19 veces mas pesado qne el agua, queremos decir que si hay dos volúmenes iguales, uno de oro y otro de agua, el peso del primero será 19 veces mayor que el del segundo. En este modo de hablar, no se dice nada del peso absoluto de los cuerpos, sinó se habla por comparacion, refiriéndose á volúmenes iguales; y con tal que los volúmenes sean iguales, nada importa que sean grandes ó pequeños (*a*). = A 25 de Agosto de 1760.

(*a*) Quando se considera el peso de los cuerpos en este sentido, esto es, que se atiende á lo que pesa la materia en un volúmen determinado, como de un pie, se le llama *gravedad específica.* Asi quando se dice que la *gravedad específica* del oro es 19, quiere decirse, que un volúmen de oro, pesa 19 veces mas que otro igual volúmen de agua destilada, que se toma por término de comparacion ó por unidad.

CARTA 51.

La gravedad parece tan esencial á la naturaleza de los cuerpos, que casi es imposible concebir la idéa de un cuerpo que no sea grave. Esta qualidad influye tanto en las acciones que exercemos sobre los cuerpos, que siempre se debe atender á su gravedad ó peso. Nosotros mismos sentimos continuamente el efecto de la gravedad de nuestro cuerpo, ya estemos en pie, ya sentados, ó ya acostados, y jamas caeriamos si no estuviese dotado, igualmente que todas sus partes, de esta fuerza. Nuestro modo de hablar está tambien arreglado á esta propiedad de los cuerpos, y llamamos *baxo* el lugar hácia donde se dirigen los cuerpos quando caen, y *alto* el que está en la direccion opuesta, respecto del cuerpo. Se ve que quando se dexa caer libremente un cuerpo, desciende por linea recta, dirigiéndose hácia abaxo, á la qual se llama tambien *vertical*, de suerte que por este término, entendemos una linea recta tirada de arriba á baxo: y si la concebimos prolongada por arriba hasta el Cielo, llamarémos á este punto nuestro *zenith*, voz árabe que significa el

punto del Cielo que está directamente sobre nuestra cabeza. V. A. comprehende pues que una *linea vertical* es la linea recta por la qual baxa un cuerpo quando no está sostenido. Si colgamos un cuerpo de un hilo, y lo tenemos por el otro extremo, estará el hilo tirante en linea recta, la qual será una linea vertical. Los Albañiles se valen de un hilo con una bala de plomo en un extremo, al qual instrumento llaman *aplomo*, y lo usan para levantar las paredes, que deben ser verticales, si han de ser firmes.

El suelo de una casa debe estar de manera que la linea vertical sea perpendicular á él, en cuyo caso se dice que el suelo es *horizontal*; por lo que V. A. ve que un plano horizontal es aquel, al qual es perpendicular la linea vertical. Quando estamos en un llano que no está limitado por, ninguna montaña, sus extremos se llaman *horizonte*, voz griega que significa el término de nuestra vista: este llano representa entónces un plano horizontal, del mismo modo que la superficie de un lago. Tambien hay otro término para expresar lo que es horizontal, y es decir que tal superficie ó linea está *á nivel*. Se dice igualmente que dos puntos están á nivel, quando la linea recta que pasa por ellos, es horizontal, de suerte que la linea vertical ó la linea á plomo sea perpendicular. Pero estos dos puntos no están á nivel, si la linea recta que pasa por ellos

no es horizontal: entónces uno de ellos está mas alto que el otro. Esto sucede en los rios: la superficie de ellos está inclinada, pues si estuviese horizontal, el rio no correria; en lugar que todos corren hácia los lugares ménos elevados. Hay instrumentos para saber si dos puntos están á nivel, ó quanto está el uno mas alto que el otro. Llámase este instrumento *nivel*, y su uso, *nivelacion*. Si quisiese V. A. tirar una linea recta desde un punto de su aposento de Berlin, á otro tomado en el de Magdebourg, se podria hallar, por medio de este instrumento, si dicha linea era horizontal, ó si uno de los puntos estaba mas ó ménos elevado que el otro. Yo creo que el punto de Berlin estaria mas elevado que el de Magdebourg, y me fundo en la corriente de los rios Spree, Havel y Elba: porque como el Spree desemboca en el Havel, es preciso que esté mas alto, y por la misma razon el Elba debe estar mas baxo que el Havel; por lo qual Berlin está mas alto que Magdebourg, con tal que se comparen puntos igualmente elevados sobre el suelo; porque si se tirase una linea recta desde el suelo de Berlin al vértice del campanario de Magdebourg, quizá esta linea seria horizontal.

De esto puede inferir V. A. la utilidad del arte de nivelar, quando se trate de la conduccion de las aguas; porque como el agua no puede correr sino de un lugar ele-

vado á otro que lo esté ménos, ántes de abrir un canal, es necesario tener seguridad de que el un extremo está mas alto que el otro, lo que se conoce por la nivelacion. Quando se construye una ciudad, es menester disponer las calles, de modo que estén inclinadas á un lado, á fin que corran las aguas. No sucede así en los edificios, donde los pisos de los aposentos deben estar de nivel perfectamente, porque no hay agua que corra, excepto en las caballerizas, en que se hacen inclinados. Los Astrónomos toman muchas precauciones para que el piso de los Observatorios esté á nivel exâctamente, y corresponda al horizonte real que se ve en el Cielo, en cuyo caso la linea vertical, prolongada hasta el Cielo, señala el zenith. = A 27 de Agosto de 1760.

CARTA 52.

V. A. no ignora que la Tierra tiene la figura de un globo con corta diferencia. Aunque en estos últimos tiempos, se ha descubierto que no es perfectamente esférica, sinó algo aplanada por los polos, la diferencia es tan corta, que nada importa para nuestro objeto. Los montes y valles no impiden tam-

poco mirarla como un globo; porque siendo su diámetro de 1900 leguas españolas, y la altura de los montes mas elevados, de poco mas de media legua, son casi nada respecto de esta gran masa.

Los antiguos no conocian la verdadera figura de la Tierra. La mayor parte la miraban como una masa ABCD aplanada por Fig. 25. encima AB, y cubierta parte de tierra y parte de agua; y creian que solo la superficie AB era habitable, siendo imposible pasar de A y B, que miraban como los términos del mundo. Luego que se pensó que la Tierra era casi esférica, y habitable en todas partes, de suerte que habia parages directamente opuestos á nosotros, cuyos habitantes tenian los pies vueltos á nosotros, por lo que los llaman *Antípodas*, padeció esta opinion tales contradicciones, que algunos Padres de la Iglesia la tuviéron por herética, y fulmináron el anathema contra los que creian la exîstencia de los antípodas. Pero en el dia pasaria por ignorante el que quisiese dudar de esto, especialmente quando los viageros que han dado varias veces la vuelta al mundo, han confirmado esta verdad. Sin embargo se presenta una dificultad, cuya resolucion servirá para manifestarnos la verdadera direccion de la gravedad.

Si el círculo AB representa la Tierra, y Fig. 26. estamos en A, nuestros antípodas estarán en B diametralmente opuestos; y como no-

sotros tenemos la cabeza arriba y los pies abaxo, nuestros Antípodas tendrán los pies arriba y la cabeza abaxo, suponiendo que estas voces indiquen la misma direccion que quando se pronuncian en el parage donde estamos. Los viageros que han dado la vuelta al mundo, han observado que su cabeza y pies conservaban la misma posicion, relativa á la superficie del globo terrestre. Algunos á quienes paraba este fenómeno, pretendian explicarlo por la comparacion de un globo sobre cuya superficie andan las moscas ú otros insectos tanto por arriba como por abaxo; sin considerar que los insectos que están por abaxo se agarran con las uñas, sin lo qual caerian al instante; lo que no tiene lugar en los Antípodas. Ademas, así como nosotros creemos estar arriba en la Tierra, el Antípoda cree lo mismo, é imagina que nosotros estamos abaxo. Todo esto se aclara fácilmente, en sabiendo que está probado que la direccion de la gravedad es casi perpendicular á todos los puntos de la superficie de la Tierra, y que varía en todos ellos, de suerte que en los que son Antípodas, debe ser opuesta. Las voces *arriba* y *abaxo*, no deben expresar una direccion constante, sinó la direccion de la gravedad, sea la que fuere. Los Antípodas no tienen la cabeza hácia abaxo sinó respecto de nosotros, y no respecto de sí mismos; de modo que están igualmente que nosotros en la posicion en

que les obliga á estar la fuerza de la gravedad, ó de un modo semejante al nuestro respecto de la superficie de la Tierra. V. A. no necesitaba sin duda de esta explicacion; pero ha habido tiempo, y aun no está muy léjos de los nuestros, en que hubiera sido necesaria para aquellos á quienes entónces llamaban sabios. = A 28 de Agosto de 1760.

CARTA 53.

Aunque la superficie de la Tierra es desigual por causa de los montes y valles, sin embargo está perfectamente á nivel donde quiera que hay mar, porque la superficie del agua es siempre horizontal, ó lo que es lo mismo, la linea vertical por la qual caen los cuerpos, es perpendicular á ella. Por consiguiente si estuviese toda la Tierra cubierta de agua, en qualquiera parage de su superficie, la linea vertical seria perpendicular á ella (*a*).

(*a*) Conviene formarse idéa clara de lo que se entiende por estar á *nivel*, y por superficie *horizontal*. Varios puntos que están á nivel ó en una superficie horizontal, no están en linea recta, sinó que debiendo estar á igual distancia del centro de la Tierra, se hallan en una linea curva, ó lo que es lo mismo en la misma

Fig. 27. Sea ABCDEFGH la Tierra, y esté su superficie horizontal por todas partes: la linea *a*A será vertical en A, en B lo será la linea *b*B, en C la *c*C, en D la *d*D, en F la *f*F, y así de las demas. En cada lugar determina la linea vertical, lo que se llama *arriba* y *abaxo*; por consiguiente para los que estén en A será el punto A abaxo, y el punto *a* arriba; para los que estén en F será el punto F abaxo, y el punto *f* arriba, y así de los demas lugares de la Tierra. Todas estas lineas verticales *a*A, *b*B, *c*C, *d*D, &c. se llaman tambien las direcciones de la gravedad; porque en donde quiera caen los cuerpos por estas lineas, de suerte que un cuerpo abandonado á sí propio en *g*, descenderia por la linea *g*G: por donde se vé, que en qualquiera parte deben caer los cuerpos perpendicularmente á la superficie de la Tierra, ó por mejor decir á la del agua si la hubiese. Por consiguiente, como en qualquier parage de la Tierra en que podemos hallarnos, caen los cuerpos hácia su superficie, se dirá *abaxo*, si se habla de lo que se dirige hácia la Tierra, ó está mas cerca de ella; y *arriba* de lo que está colocado en la direccion opuesta, ó esté mas distante de la Tierra; y como en donde quiera tienen los hom-

Tierra que es esférica. A esto se atiende en las nivelaciones grandes y en las operaciones delicadas; pero hay muchos casos en que no se necesita esta exâctitud.

bres los pies sobre la Tierra, estos estarán *abaxo*, y la cabeza *arriba*. Si fuese la Tierra un globo perfecto, las lineas verticales *a*A, *b*B, *c*C prolongadas interiormente concurririan en el centro *O*, que es tambien el de la Tierra; y por eso se dice que los cuerpos procuran siempre acercarse al centro de la Tierra. En efecto, si se abriese un pozo en un parage qualquiera de la Tierra, y se continuarse hácia abaxo, se llegaria por fin al centro de ella. V. A. se acordará de que Mr. de *Voltaire* se ha burlado muchas veces de este agujero que habia de ir hasta el centro de la Tierra, imaginado por Mr. de *Maupertuis* (1). Verdad es que nunca podria executarse semejante agujero, porque seria menester profundizar hasta 950 leguas españolas; pero es permitido suponerlo para indagar lo que entónces sucederia.

Supongamos pues que esté en A este agujero, continuado por el centro O de la Fig. 28.

(1) Mr. *Euler*, amigo de *Maupertuis*, se empeñó en defender á este Filósofo, y Mr. *Voltaire* enemigo suyo, y amigo de burlarse de todo, se empeñó en ridiculizarle. Los que gozan de la imparcialidad, saben que Mr. de Maupertuis propuso seriamente el hacer un agujero en la Tierra para saber las materias de que estaba formada, quejándose amargamente de que los Príncipes no empleasen su dinero en ello, en lugar de hacer otras obras de luxo y ostentacion: lo que es muy diferente de lo que dice aquí Mr. Euler. La idea de este es exacta, y la del otro no dexa de parecer ridícula.

Tierra hasta nuestros antípodas en B. Si baxásemos por él, ántes de llegar al centro O, por exemplo en E, el centro de la Tierra nos pareceria abaxo, y el punto A arriba: y si no estabamos sostenidos, caeriamos hácia O; pero en pasando mas allá del centro, como por exemplo á F, nuestra gravedad se dirigiria hácia O, cuyo punto, y con mayor razon el punto A, nos parecerian abaxo, y el punto B arriba. De esta suerte los términos de *abaxo* y *arriba*, mudarian de significacion, no obstante que ibamos de A á B por una linea recta. Miéntras pasamos de A á O vamos baxando; pero al ir de O á B, subimos efectivamente, pues nos alejamos del centro de la Tierra; y nuestra propia gravedad se dirige siempre hácia este punto, de manera que si cayésemos sea de E ó de F, siempre caeriamos hácia el centro O de la Tierra. Nuestro antípoda en B, que quisiese pasar de B á A por el agujero, se encontraria en el mismo caso, esto es, desde B hasta el centro O tendria que baxar; pero tendria que subir desde O hasta A. Estas consideraciones nos conducen á definir la gravedad, *una fuerza por la qual todos los cuerpos se dirigen al centro de la Tierra*. El mismo cuerpo que en A seguiria la direcion AC, seguirá la BO si se le traslada á B. La direccion de la gravedad determina pues la significacion de los términos *abaxo* y *arriba*, *baxar* y *subir*, pues la gra-

vedad tiene grande influencia en nuestras operaciones, y obra en nuestros propios cuerpos, de manera que en donde quiera experimentamos sus efectos (*a*). = A 29 de Agosto de 1760.

CARTA 54.

V. A. sabe pues que en virtud de la gravedad, todos los cuerpos se dirigen directamente hácia el centro de la Tierra perpendicularmente á su superficie: por eso las líneas perpendiculares á la superficie de nues-

(*a*) De la gravedad depende, por exemplo, el que anden los animales. Quando andamos, impelemos con un pie nuestro cuerpo, el que, en virtud de la gravedad, procura caer, y entónces sentamos dicho pie sacándolo adelante. El esfuerzo que hacemos para levantar un cuerpo, y sobre todo para empujar, depende principalmente de nuestro propio peso. Las diferentes aptitudes del hombre, tienen estrecha conexion con su peso. Un hombre no puede dexar de caer, siempre que la linea que pasa por sus pies no dexe iguales pesos á uno y otro lado de su cuerpo, ó lo que es lo mismo, para que el hombre permanezca estable, la vertical que pasa por el punto en que se sostiene, ha de pasar por su centro de gravedad. Los Pintores conocen esto, para no cometer el defecto de pintar hombres en tal aptitud, que no sea natural. Lo mismo se aplica á los demas animales.

tro globo, se miran como las direcciones de la fuerza de gravedad. Dase á la gravedad el nombre de fuerza, y con razon, porque se llama fuerza todo lo que es capaz de dar movimiento á un cuerpo. Así se habla de la fuerza de los caballos, porque pueden tirar de un carro; y de la de la corriente de un rio ó del viento, porque por medio de ella se mueven los molinos. No hay pues duda en que la gravedad es una fuerza, pues que obliga á los cuerpos á caer; y quando uno va cargado, siente el efecto de ella, que es la presion que experimenta. En toda fuerza hay que considerar dos cosas: 1.ª la direccion en que obra sobre los cuerpos: 2.ª su cantidad, que se mide por el efecto que produce. La direccion de la gravedad está bastante conocida, una vez que sabemos que todos los cuerpos pesan hácia el centro de la Tierra, ó lo que es lo mismo, que obra perpendicularmente á la superficie de nuestro globo: nos queda pues que exâminar su cantidad, la que se determina por el peso de cada cuerpo (*a*): y como los pesos de los cuer-

(*a*) Para formar una idéa clara del peso de un cuerpo, conviene saber que la gravedad imprime ó procura imprimir á cada partícula de los cuerpos, en un instante, una velocidad determinada, con que caerian si no estuviesen sostenidos; la qual, haciendo abstraccion del ayre, será la misma para cada molecula de los cuerpos, sean de la materia que fuesen. Sentado esto, por peso de un cuerpo, debe entenderse el esfuerzo necesario para impedirle que caiga, para

pos son muy diferentes, los mas pesados se dirigen hácia abaxo con mas fuerza. Se preguntará si un mismo cuerpo transportado á otros parages de la Tierra, conservará siempre el mismo peso. Hablo de los cuerpos que nada pierden por la evaporacion. Las observaciones han probado que un cuerpo pesa algo ménos en el equador que hácia los polos. V. A. vé que las mejores balanzas no servirian para descubrir esta diferencia, porque los pesos que se emplean para esta operacion, están sujetos á la misma variacion. Una masa que pesase aquí 100 libras, tendria en el equador el nombre de 100 libras, no obstante que el esfuerzo seria algo

lo qual es evidente que es menester destruir la velocidad que la gravedad ha comunicado á cada partícula. Este esfuerzo será pues igual á la suma de las velocidades de todas las partículas. De aquí podemos inferir que los cuerpos mas compactos, ó en que las partículas están mas próximas, y que por consiguiente contienen mayor número de ellas, en igual volúmen, pesarán mas que los otros; porque siendo el peso la suma de las velocidades de las partículas, será tanto mayor quantas mas moléculas haya en la masa del cuerpo.

De esto se sigue que „es menester distinguir el „efecto de la gravedad del efecto del peso. El prime„ro es de comunicar ó procurar comunicar á cada „parte de la materia, cierta velocidad que es inde„pendiente absolutamente del número de partes ma„teriales; y el segundo, el esfuerzo que debe hacerse „para impedir que una masa dada no obedezca á la „gravedad. Por consiguiente *el peso depende de la ma„sa, pero no la gravedad.*"

menor que aquí. El efecto de la gravedad, que es el descenso de los cuerpos, ha dado á conocer esta variacion; y se ha observado que un mismo cuerpo no cae en el equador, tan velozmente como en el pais que habitamos. Por consiguiente, es indubitable que un mismo cuerpo, trasladado á diferentes parages de la Tierra, padece alguna mudanza en su peso (*a*).

(*a*) La variacion de la gravedad en la superficie de la Tierra, ha sido conocida y determinada por medio de las observaciones del péndulo. Este instrumento no es mas que un cuerpo, como una bala de fusil ú otro qualquiera, suspenso al extremo de un hilo, ó de una varilla de metal, que por el otro extremo está detenido en qualquier parte, y puede girar á uno y otro lado. Apartando un poco el instrumento, de la linea vertical, se le suelta, y hace oscilaciones que son casi iguales en duracion, aunque los arcos no lo sean: de manera que dos péndulos iguales hacen sus oscilaciones en un mismo tiempo, aunque el primero se aparte de la vertical mas que el segundo. La duracion de estas oscilaciones depende del tamaño y de la figura del cuerpo suspendido, de la longitud del hilo ó varilla y de su masa; pero los Matematicos han dado reglas generales, para reducir estas oscilaciones á las que haria un péndulo cuyo peso estuviese reunido en un punto. A este *péndulo simple* se refieren los experimentos.

Richer observó en 1672 en la Cayena, que el relox de péndola, que llevó de Paris para sus observaciones, se atrasaba cada dia. Despues se han repetido los experimentos en muchos parages, con el mayor cuidado, y de ellos se ha deducido que la gravedad crece del equador á los polos, y que este incremento es proporcional al quadrado del seno de la latitud.

Volvamos ahora al agujero que consideramos al traves de la Tierra: es claro que un cuerpo colocado en el centro mismo, debe perder enteramente su gravedad, pues no podria moverse en ninguna direccion, una vez que todas las de la gravedad se dirigen al centro de la Tierra. Si un cuerpo pues no pesa en el centro de la Tierra, se sigue que á medida que se acerca á él, se disminuirá su peso sucesivamente; de lo que se deduce que un cuerpo que penetra en las entrañas de la tierra, pierde de su peso, al paso que se acerca al centro. V. A. vé pues que ni la direccion, ni la intensidad de la gravedad, son efecto de la naturaleza de cada cuerpo, pues no solo puede variar la intensidad, sino tambien su direccion, que llega á ser contraria en pasando á los antípodas.

Despues de haber viajado mentalmente hasta el centro de la Tierra, volvamos á su superficie, y subamos á la cima de los montes mas altos, donde no observarémos variacion sensible en la gravedad de los cuerpos, no obstante que hay razones muy poderosas para creer, que el peso de los cuerpos se disminuye á medida que se apartan de la Tierra. En efecto, supongamos un cuerpo que se fuese alejando de la Tierra, hasta que al fin llegase al Sol ó á alguna estrella fixa: seria ridículo pretender que habia de caer sobre la Tierra, visto que esta no es nada en comparacion de aquellos astros. De esto se

saca por conclusion, que si un cuerpo se aleja de la Tierra, se disminuirá su gravedad sucesivamente, hasta que por fin se desvanezca del todo. Sin embargo hay motivo para creer que si un cuerpo se alejase tanto como la Luna, tendria aun cierto peso, que seria 3600 veces menor que el que tenia sobre la Tierra. Imaginemos un cuerpo que pesase 3600 libras sobre la Tierra: nadie seria capaz de levantarlo aquí; pero si lo alejamos á la distancia de la Luna, yo me obligo á sostenerlo con un dedo; porque allí no pesará mas que una libra, y pesaria mucho ménos si se le llevase mas allá.

Estamos pues ciertos de que la gravedad es una fuerza que obliga á los cuerpos á dirigirse hácia el centro de la Tierra: que obra con mayor actividad en la superficie de la Tierra que en qualquiera otra parte; y que se disminuye en apartándose de ella, ya penetrando hácia su centro, ya elevándose sobre la superficie de este globo. Fáltanos todavia mucho que decir sobre esta materia.=
A 30 de Agosto de 1760.

CARTA 55.

Hemos visto que un cuerpo terrestre, colocado á la altura á que está la Luna, no tendria mas que la 3600 parte de su peso, ó lo que es lo mismo, que estaria solicitado hácia el centro de la Tierra, por una fuerza 3600 veces menor, que la que experimenta en la superficie del globo. Sin embargo dicha fuerza bastaria para hacerle caer sobre la Tierra, luego que no estuviese sostenido. De esto no podemos convencernos por ningun experimento, porque no tenemos medios para elevarnos tanto; pero hay un cuerpo á esta altura, y es la Luna, que deberia estar sujeta á este efecto de la gravedad, y no obstante no vemos que caiga hácia la Tierra. A esto respondo, que si la Luna estuviese en reposo, caeria infaliblemente; pero se lo impide el movimiento rápido que tiene. La experiencia nos convencerá de la solidez de esta respuesta. Si dexamos caer una piedra de la mano, sin comunicarle movimiento alguno, cae por una linea recta vertical; pero si se tira dicha piedra, dándole un movimiento que la desvie de esta direccion, no cae al instante abaxo, sinó que se mueve por una

linea curva, ántes de llegar á la Tierra; lo que sucederá de un modo tanto mas sensible, quanto mayor sea la velocidad que se le haya comunicado. Una bala de cañon, disparada en direccion horizontal, va á caer muy léjos; y si se disparase desde lo alto de un monte, tal vez correria ántes muchas leguas. Si se eleva mas el cañon, y se aumenta la fuerza de la pólvora, irá la bala mucho mas allá. De este modo se podria conseguir que la bala fuese á caer á nuestros antípodas; y siguiendo mas adelante, podria suceder que no cayese sobre la Tierra, y volviese al parage de donde salió, dando una vuelta al mundo, y formaria una pequeña Luna, que hiciese sus revoluciones al rededor de la Tierra como la verdadera. Si se reflexîona al presente sobre la altura de la Luna, y la volocidad prodigiosa con que se mueve, no nos sorprehenderá que no caiga sobre la Tierra, aunque la gravedad la solicite hácia el centro. Una reflexîon aclarará esto todavia mas. Consideremos el camino que describe una piedra ó una bala tirada obliquamente; y verémos que siempre es Fig. 29. una linea curva, como lo representa la figura.

A, es la cima de una montaña de donde se ha tirado la bala, que despues de haber corrido el camino AEFB, que es una linea curva, cae á tierra en B. Reparo que si no fuese pesada la bala, esto es, si no estuviese solicitada hácia el centro de la Tierra, no

caeria nunca, aun quando se la dexase en libertad, porque la única causa de su caida es la gravedad: y con mayor razon no caeria si saliese disparada de A: por donde vemos que la gravedad hace caer la bala, despues de haberle hecho describir la linea curva AEFB; de manera que si aquella faltase, la bala continuará moviéndose en la direccion de la linea recta AC, segun la qual salió disparada. Sentado esto, considerémos la Luna, que no se mueve en linea recta; y como siempre está á la misma distancia de nosotros con corta diferencia, será preciso que el camino que anda sea una curva, semejante poco mas ó ménos á un círculo, descrito al rededor de la Tierra con un radio igual á la dicha distancia. Podria preguntarse ¿por qué no se mueve la Luna en linea recta? Pero la respuesta no es dificil, porque si la gravedad es la causa de que el camino que corren una piedra ó una bala, sea una curva, es muy natural pensar que la gravedad obra tambien sobre la Luna, la solicita hácia el centro de la Tierra, y causa la curvatura de su órbita. Por consiguiente la Luna tiene cierto peso, y tiene tendencia hácia el centro de la Tierra; pero este peso es 3600 veces menor que en la superficie de la Tierra. Esto no es una conjetura probable, sinó que se puede asegurar que es una verdad demostrada: porque suponiendo esta ley de la gravedad, se determina, por los prin-

cipios evidentes de las Matemáticas, el movimiento que ha de tener la Luna, cuyo resultado concuerda puntualmente con el que tiene en realidad, y prueba completamente mi asercion. = A 1.º de Setiembre de 1760.

CARTA 56.

La gravedad es, segun hemos visto, una propiedad de todos los cuerpos terrestres, que se extiende hasta la Luna. La tendencia de esta hácia la Tierra, depende de la fuerza de gravedad, que modifica su movimiento, del mismo modo que el de una bala ó de una piedra. Newton fué quien hizo este descubrimiento importante. Este Ingles, tan gran Filósofo como Geómetra, estando un dia recostado baxo un manzano, le cayó una manzana sobre la cabeza, lo que le hizo reflexîonar bastante. Bien pensó que la gravedad habia hecho caer la manzana, venciendo la fuerza que la tenia en la rama, y qualquiera hubiera hecho esta reflexion; pero el Filósofo Ingles adelantó mas, y se preguntó, si hubiera obrado esta fuerza sobre la manzana, estando el árbol mucho mas alto. De esto no podia dudar. Pero ¿si hubiese estado tan alto como la Luna? Aquí

se encontró sin atreverse á decidir si la manzana caeria. En caso que cayese, lo que le parecia muy verosímil, pues no se puede concebir el término de la altura del árbol, en que la manzana no cayese, seria menester que tuviese todavia alguna gravedad que la solicitase hácia la Tierra: por consiguiente si la Luna se encontrase en el mismo parage, estaria solicitada hácia la Tierra por una fuerza semejante á la que obra sobre la manzana. Sin embargo, como la Luna no caia, creyó que su movimiento podria ser la causa de ello, como sucede muchas veces que pasa una bomba por encima de nosotros, sin caer verticalmente. Esta comparacion del movimiento de la Luna con el de una bomba, le determinó á exâminar atentamente la qüestion, y con el auxîlio de la mas sublime Geometría, halló que la Luna se movia guardando las mismas leyes que una bomba, y que si fuese posible arrojar una á la altura de la Luna, y con la misma velocidad, tendria el mismo movimiento que ella, solo con la diferencia de que la gravedad de la bomba seria mucho menor á esta distancia, que en la superficie de la Tierra. Bien se notará que el principio del raciocinio de nuestro Filósofo, es muy sencillo, y semejante al que haria un rústico; pero luego se remontó adonde este no hubiera podido. De todo esto se infiere, que no solo los cuerpos que están próximos á la Tierra, sinó tambien los que es-

tán distantes, aun tanto como la Luna, procuran baxar hácia el centro de la Tierra, en virtud de una fuerza, que es la gravedad, la qual se disminuye á medida que los cuerpos se alejan de su superficie. El Filósofo Ingles, no se contentó con esto, sinó que sabiendo que los planetas son semejantes á la Tierra, sacó por conclusion, que todos los cuerpos que rodean á cada planeta, son pesados, y la direccion de esta gravedad se dirige al centro de cada uno de ellos. Esta gravedad será tal vez mayor ó menor que en la Tierra; esto es, que un cuerpo de cierto peso entre nosotros, pesará mas ó ménos si se le traslada á la superficie de otro planeta. Finalmente la fuerza de gravedad de cada planeta, se extiende tambien á grandes distancias, al rededor; y como vemos que Júpiter tiene quatro satélites, y Saturno cinco (*a*), que se mueven al rededor de ellos, del mismo modo que la Luna al rededor de la Tierra, no puede dudarse que el movimiento de los satélites de Júpiter, esté modificado por la gravedad hácia el centro de este planeta, y el de los satélites de Saturno por su gravedad hácia él. Así como la Luna se mueve al rededor de la Tierra, y los satélites al rededor de Júpiter y Saturno, así tambien todos los planetas se mue-

(*a*) En el dia se conocen siete satélites de Saturno. Ademas el nuevo planeta *Urano*, descubierto por Herschel, tiene dos satelites.

ven al rededor del Sol; de donde Newton sacó la famosa conseqüencia de que *el Sol está dotado de la propiedad de atraher hácia su centro todos los cuerpos, con una fuerza que se podria llamar gravedad solar.* Esta fuerza se extiende muy léjos al rededor, mucho mas allá de todos los planetas, una vez que modifica sus movimientos. El mismo Filósofo encontró el medio de determinar el movimiento de los cuerpos, en conociendo la fuerza que los atrahe hácia un centro; y habiendo descubierto las fuerzas que obran en los planetas, pudo darnos una descripcion exâcta de sus movimientos. En efecto, hasta entónces, se estaba en una profunda ignorancia del movimiento de los cuerpos celestes, y á él debemos las grandes luces de que al presente gozamos en la Astronomía. V. A. quedará atónita al ver los progresos maravillosos, que han debido todas las ciencias á una idéa tan sencilla en su orígen. Si Newton no se hubiera recostado baxo un manzano, y no le hubiera caido una manzana por casualidad sobre la cabeza, tal vez estariamos en la misma ignorancia acerca del movimiento de los cuerpos celestes, y de una infinidad de fenómenos que dependen de él (*a*). Esta materia me-

(*a*) Preguntándole un dia á Newton cómo habia hallado el sistema del mundo, respondio: *Pensando siempre en ello.* Esta anecdota parece mas verosimil

rece toda la atencion de V. A., y por consiguiente, que nos detengamos mas en ella (a). = A 3 de Setiembre de 1760.

que la del manzano, bien que esta sea muy propia para aclarar la materia.

(a) *Francisco Bacon de Verulamio* decia: „Deberia „buscarse, si hay alguna especie de fuerza magnetica, „que obre entre la Tierra y las substancias pesadas, „entre la Luna y el Occeano, entre los planetas.... „Es preciso ó que los cuerpos graves sean impelidos „hácia el centro de la Tierra, ó que se atraigan mútua„mente; en cuyo último caso, es evidente que quan„to mas se acerquen á la Tierra los cuerpos que caigan, „se atraherán con mas fuerza. Se deberia experimen„tar si un mismo relox de pendola irá mas aprisa, „en lo alto de un monte, que en el fondo de una „mina. Si la fuerza de los pesos se disminuye sobre „un monte, y se aumenta en la mina, hay aparien„cia que la Tierra tiene una verdadera atraccion. „ Así hablaba este Filósofo sagaz, y no han faltado otros que hablasen de atraccion, y formasen algunas conjeturas que, al parecer de algunos, prueban la antigüedad de la atraccion; pero es menester atender á que el descubrimiento de Newton no es la palabra *atraccion*, sinó el haber probado que la misma fuerza que hace descender los cuerpos en la superficie de la Tierra, es la que detiene á la Luna en su orbita; y la que detiene á los demas planetas en las suyas, siguiendo una ley universal.

CARTA 57.

V. A. no dudará de que el sistema de Newton hizo al principio mucho ruido, y con razon, pues aun faltaba que hacer un descubrimiento tan feliz, y que tanto influia en todas las ciencias. Varios han sido los nombres que le han dado, los que importa conocer, porque se oyen con freqüencia. Llámanle sistema de la *gravitacion universal*, porque Newton sostiene que no solo la Tierra, sino en general todos los cuerpos celestes están dotados de la propiedad de atraher los cuerpos que les rodean con una fuerza semejante á la gravedad; de la qual se ha derivado la palabra *gravitacion*. Esta fuerza es invisible, y nada vemos que obre sobre los cuerpos, impeliéndolos hácia la Tierra, ni hácia los cuerpos celestes. El iman que atrahe el hierro y el acero, sin que sepamos la causa, nos ofrece un fenómeno casi semejante. Aunque al presente estemos ciertos de que esto sucede mediante una materia sutil que atraviesa los poros del iman y del hierro, puede no obstante decirse que el iman atrahe al hierro, y que este es atrahido, con tal que este modo de

hablar no excluya la verdadera causa (a). Del mismo modo se podrá decir que la Tierra atrahe los cuerpos que la rodean, aun quando están á grandes distancias; y se podrá mirar la gravedad de los cuerpos, como efecto de la atraccion de la Tierra, que obra hasta en la Luna. Ademas el Sol y los otros planetas están dotados de una fuerza atractiva, que se extiende á todos los cuerpos. Segun este modo de hablar, se dice que el Sol atrahe á los planetas, y que Júpiter y Saturno atrahen á sus satélites: y de aquí ha tomado el sistema de Newton el nombre de *sistema de la atraccion.* Como nó hay duda en que los cuerpos cercanos á la Luna, están tambien animados por una fuerza semejante á la gravedad, se podrá decir que la Luna atrahe los cuerpos circunvecinos. Era natural suponer, que la atraccion de la Luna se extendia hasta la Tierra, aunque sea mas débil, como hemos visto lo es la de la Tierra sobre la Luna. El mismo Filósofo demostró, que la mencionada atraccion de la Luna sobre las aguas del mar, era la causa del fluxo y refluxo, de que hablaré mas adelante. Es pues indubitable que Júpiter y Saturno son atrahidos por sus satélites, y que el Sol mismo obedece á la atraccion de los planetas, aunque esta fuerza sea sumamente pequeña. Tal es

(a) Hasta ahora no se sabe la causa de la atraccion del iman, aunque muchos sospechan ser efecto de algun fluido que circula por los poros del iman.

el orígen del sistema de la atraccion general, en el qual se sostiene con razon, que no solo el Sol atrahe á los planetas, sino que recíprocamente estos atrahen á aquel; y que todos los planetas se atrahen mútuamente. Por consiguiente no solo el Sol atrahe á la Tierra, sinó tambien todos los demas planetas obran sobre ella, aunque la accion de estos es casi insensible respecto de la del Sol. V. A. ve claramente que el movimiento de un planeta, que no solo está atrahido por el Sol, sinó tambien por los demas planetas, debe ser algo diferente del que tendria si solo lo atraxese el Sol, y por consiguiente las atracciones de los demas planetas causarán alguna variacion. La experiencia ha verificado esto, lo que ha dado al sistema de la atraccion el grado mas sublime de evidencia, de manera que nadie puede dudar de su verdad. Los cometas están tambien sujetos á esta ley; de suerte que el Sol los atrahe principalmente, y su accion modifica sus movimientos: pero al mismo tiempo obran en ellos los demas planetas, particularmente quando no están muy distantes. Verémos en adelante, que es regla general, el que la atraccion de los cuerpos celestes se disminuye quando la distancia crece, y se aumenta quando esta mengua. Los cometas están igualmente dotados de una fuerza con que atrahen á los demas cuerpos, con tanta mayor energía quanto mas se acercan. Por

consiguiente, quando un cometa pasa cerca de un planeta, puede alterar su movimiento por su fuerza atractiva, y el suyo propio se alterará tambien por la del planeta. Las observaciones han verificado estas consequencias, y se pueden citar muchos exemplos que prueban que la atraccion de los planetas ha alterado el movimiento de un cometa, que pasó por cerca de ellos (a); y que

(a) El cometa de 1682 que debia volver en 1757, padeció de parte de Júpiter y Saturno, cerca de los quales pasó, una alteracion considerable que retardó su vuelta cerca de dos años. Mr. *Clairaut* calculó por la teoría, las perturbaciones que debia padecer su movimiento, y predixo la vuelta del cometa con tal exâctitud, que es prueba convincente del sistema de la atraccion. Sin embargo hubo un error de dos meses: pero Mr. de la Place ha manifestado que hubiera sido mucho menor, si se hubieran podido entónces calcular las perturbaciones de Júpiter y Saturno con tanta exâctitud como el lo ha hecho despues.

Finalmente con el auxilio de la Geometria, y siguiendo esta ley universal de la naturaleza, se han calculado todos los fenómenos celestes; y la exâctitud que se ha encontrado en todos estos casos, es una demostracion de su verdad. De esta ley se derivan con suma exâctitud todas las desigualdades de los movimientos celestes, y en ella se ha encontrado la causa de muchos movimientos singulares, observados por los Astrónomos, pero tan complicados ó lentos, que ó no se hubiera llegado nunca a determinar sus leyes, ó hubiera sido menester para ello, muchisimos años de observacion. Este descubrimiento de Newton ha manifestado la sencillez, la harmonia y la dependencia de todos los fenómenos astrónomicos. Sin el, la elipticidad de las orbitas planetarias; las leyes que siguen

el movimiento de la Tierra y demas planetas ha padecido ya alguna alteracion de parte de los cometas. Sin duda las estrellas fixas, que son cuerpos semejantes al Sol, están tambien dotadas de fuerza atractiva; pero como están á una distancia tan prodigiosa, no experimentamos el efecto. = A 5 de Setiembre de 1760.

CARTA 58.

Hemos pues probado, que en los cuerpos celestes reyna una gravitacion, por la qual todos se atrahen mútuamente, y que esta fuerza crece á proporcion que la distancia se disminuye. Hasta aquí son hechos indubitables; pero se disputa si se le ha de llamar *impulsion* ó *atraccion*. El nombre es

los planetas y cometas en sus movimientos, al rededor del Sol; sus desigualdades seculares y periódicas; las de la Luna y de los Satelites de Júpiter; la precesion de los equinoccios; la nutacion del exe de la Tierra; los movimientos del exe de la Luna; el fluxo y refluxo del mar, no serian mas que unos resultados de la observacion, sueltos y sin ley regular y constante; en lugar que de la ley de la atraccion universal, se deducen todos, siguiendo un raciocinio geometrico, y cada uno de ellos es una prueba de la existencia de esta causa.

sin duda indiferente, pues el efecto seria el mismo. De este modo, el Astrónomo atiende solo al efecto de la fuerza, sin cuidar de si los cuerpos celestes son impelidos unos hácia otros, ó si se atrahen mútuamente: y al que solo exâmina los fenómenos, le importa poco que la Tierra atrahiga los cuerpos, ó que estos sean impelidos por alguna causa invisible. Sin embargo quando se quiere penetrar en los misterios de la naturaleza, es muy importante saber, si los cuerpos celestes obran por impulsion, ó por atraccion: si alguna materia sutil é invisible los impele unos hácia otros, ó si poseen alguna qualidad oculta, mediante la qual se atrahen mútuamente. Los Filósofos están divididos en este particular: unos creen que este fenómeno es análogo á una impulsion: otros piensan con Newton y los Ingleses, que consiste en una atraccion (a). Debe notarse que el verbo *atraher* no es sinónimo de *traher*, y que no se supone un cuerpo intermedio entre el Sol y la Tierra. Los Ingleses, y en general los que

(a) Newton no habló nunca mas que de las leyes de este efecto, sin adherir á una ni otra opinion. Ha habido quien quisiese probar que, de algunos lugares de las obras de Newton, se podia inferir ser este Filósofo de opinion que la atraccion era una propiedad de la materia; pero en realidad no lo manifestó. Esto se confirma con las cartas del mismo Newton, publicadas este año de 1797, en la Biblioteca Británica, donde dice expresamente que nunca se ha metido en determinar la causa de este fenómeno.

han adoptado esta opinion, piensan que la propiedad de atraherse mútuamente, es comun á todos los cuerpos, y que les es tan natural como la extension; y basta que el Criador quisiese que todos los cuerpos se atraxesen mútuamente, para que la qüestion esté resuelta. Si no hubiese habido mas que dos cuerpos en el mundo, por distantes que hubieran estado uno de otro, hubieran tenido cierta tendencia recíproca, mediante la qual se hubieran acercado y unido. De aquí se sigue, que quanto mayor es un cuerpo, tanto mas considerable es la atraccion que exerce sobre los demas: porque siendo esencial á la materia esta qualidad, quanto mas contenga un cuerpo, tanta mas fuerza atractiva tendrá. Como el Sol es mucho mayor que los demas planetas, su fuerza atractiva será tambien mucho mayor: ademas como la masa de Júpiter es mucho mayor que la de la Tierra, la fuerza atractiva que exerce sobre sus satélites, es mucho mayor que la que exerce la Tierra sobre la Luna. Segun este sistema, la gravedad de los cuerpos terrestes es el resultado de todas las atracciones, que exercen sobre ellos las partículas de nuestro globo; de suerte que si contuviese mas materia de la que contiene, su atraccion sería mayor, y se aumentaria la gravedad de los cuerpos. Si, al contrario, la masa de la Tierra viniese á disminuirse por algun accidente, se disminuiria la fuerza atractiva, y la gra-

vedad de los cuerpos. Objetan â estos Filósofos, que segun esta opinion, dos cuerpos qualesquiera puestos, por exemplo, sobre una mesa, deberian atraherse, y por consiguiente acercarse. A esto responden, concediendo la conseqüencia; pero añaden que, en este caso, la atraccion es tan poca, que no puede resultar efecto sensible: porque si la fuerza atractiva de toda la masa de la Tierra, no produce en un cuerpo mas efecto que el que vemos en su peso, una masa muchos millones de veces menor que la Tierra, producirá un efecto otras tantas veces menor. No tiene duda qne si el peso de un cuerpo llegase á ser muchos millones de veces menor, el efecto de la gravedad sobre él se reduciria á nada; de donde se deduce, que la atraccion no puede manifestarse sinó en los cuerpos grandes. Nada pues se adelanta por este lado contra los partidarios del sistema de la gravitacion, los quales traen en favor de su opinion, un experimento hecho en el Perú por los Académicos de Paris, quienes observáron el efecto de la atraccion de una montaña sobre los cuerpos vecinos. De todo se deduce, que el que abraza el sistema de la atraccion, no tiene que temer sacar conseqüencias falsas: pues hasta ahora siempre lo han confirmado los nuevos hechos que se han descubierto (*a*). = A 7 de Setiembre de 1760.

(*a*) El Señor Bouguer, de la Academia de las Ciencias

CARTA 59.

Es muy conocida la propiedad que tiene el iman de atraher el hierro. Todos los pedacillos de hierro ó acero, como las agujas, colocados cerca de un iman, se unen á él con una fuerza tanto mayor quanto mas inmediatos están. Como no se ve nada que los acerque al iman, se dice que este los atrahe, y este fenómeno se llama *atraccion*

de Paris, y uno de los que fuéron al Perú en 1735 para medir el grado del meridiano, notó una deviacion en el aplomo del quarto del círculo, causada por la atraccion de una montaña cercana. Últimamente el Sr. Maskeline ha hecho observaciones con gran diligencia, para medir el efecto de la atraccion de una montaña de Escocia. Estas observaciones merecen repetirse, y hacerse respecto de diferentes montes, cuyo interior sea bien conocido; pues por este medio se puede averiguar qual es la densidad media de la Tierra. De las del Sr. Maskeline se infiere que la densidad media de la Tierra es casi doble de la de la montaña que observó, y unas quatro ó cinco veces mayor que la del agua.

Otro experimento curioso hacia en Paris, el Sr. Charles, en sus cursos públicos de Física. Redúcese á un globo aerostático pequeño, atado á un hilo, formando así una especie de pendulo mucho mas sensible que el ordinario. Se nota que las paredes del quarto, donde está el globo, lo atrahen á sí, desviándolo bastante de la vertical.

Sin embargo no puede dudarse que hay una materia sumamente sutil, aunque invisible, que produce este efecto, impeliendo efectivamente el hierro hácia el iman; pero como el modo de explicarse se arregla á las apariencias, ha prevalecido el uso de decir que el iman atrahe al hierro. Aunque este fenómeno es particular del iman y hierro, es adequado para dar idéa de la significacion de la palabra atraccion, que usan los Filósofos con tanta freqüencia. Estos pues dicen, que todos los cuerpos, en general, están dotados de una propiedad semejante á la del iman, y así todos se atrahen mútuamente; pero que este efecto no es sensible si las masas no son grandes, de modo que quando son muy pequeñas no podrá percibirse. Por grande que sea una piedra, por exemplo, no exerce ninguna atraccion sensible sobre otros cuerpos que se le presentan, porque su fuerza es muy pequeña. Pero si su masa se aumenta, hasta ser muchos millares de veces mayor, su efecto se hace ya sensible, como lo hemos visto en la atraccion débil que produxo el monte del Perú. Un monte mayor produciria una atraccion mayor; y un cuerpo mucho mayor, como toda la Tierra, atraheria á los demas con una fuerza proporcionalmente mayor, la qual seria cabalmente la gravedad con que vemos que baxan hácia ella. Luego, segun este sistema, la gravedad es el resultado de la atraccion de toda la masa

de la Tierra; de manera que si esta fuese mayor ó menor, la gravedad de los cuerpos seria tambien mayor ó menor. Los demas cuerpos grandes del universo, como el Sol, los planetas, y la Luna, están dotados de una fuerza atractiva semejante, la que es mayor ó menor, segun son mayores ó menores, y como el Sol es muchos millares de veces mayor que la Tierra, su fuerza atractiva es otras tantas veces mayor que la de la Tierra. La masa de la Luna es quarenta veces menor que la de la Tierra; de donde se sigue que su fuerza atractiva es otras tantas veces menor; y lo mismo se dice de todos los cuerpos celestes. = A 9 de Setiembre de 1760.

CARTA 60.

En virtud del sistema de la atraccion ó gravitacion universal, cada cuerpo atrahe á todos los demas, y es atrahido recíprocamente. Para juzgar de la fuerza con que esto se hace, no hay mas que considerar dos cuerpos que se atrahen mútuamente, en lo qual se debe atender á tres cosas: 1.º el cuerpo atrahente: 2.º el cuerpo atrahido; y 3.º la distancia de uno á otro; porque la

fuerza atractiva depende de todas ellas.

Fig. 30. Sea A el cuerpo atrahente, y B el cuerpo atrahido, ámbos esféricos, pues los cuerpos celestes tienen esta figura con corta diferencia. La distancia se toma de un centro á otro, esto es, la linea AB. Por lo que hace á la masa del cuerpo atrahente A, quanto mayor sea, tanto mayor será la fuerza con que atraherá al cuerpo B. Por consiguiente, si A fuese dos veces mayor que B, este experimentaria una atraccion dos veces mas intensa de parte del primero: si fuese tres veces mayor, el efecto seria triple, y así en adelante, suponiendo que la distancia de sus centros permaneciese siempre la misma. Por consiguiente, si la Tierra contuviese mas ó ménos materia de la que actualmente contiene, atraheria los cuerpos que la rodean con mas ó ménos fuerza, ó lo que es lo mismo, su peso seria mayor ó menor. Y como la Tierra misma es atrahida por el Sol, se podria decir lo mismo de ella, si la masa de este astro viniese á variar. Por lo que toca al cuerpo atrahido B, suponiendo que el cuerpo atrahente A, y la distancia AB permanecen constantes, debe observarse que quanto mayor ó menor fuere, tanto mayor ó menor es la fuerza con que es atrahido hácia el cuerpo A; de manera que si el cuerpo B es dos veces mayor, el cuerpo B lo atraherá con una fuerza doble; si es tres veces mayor, con una fuerza triple &c. Pa-

ra aclarar esto, pongamos la Tierra en lugar del cuerpo atrahente A, en cuyo caso la fuerza con que el cuerpo B es atrahido, es el peso de este cuerpo: por otro lado, sabemos que quanto mayor ó menor es este cuerpo B, tanto mayor ó menor es su peso: por consiguiente miéntras que el cuerpo atrahente A y la distancia AB permanezcan constantes, la atraccion que experimenta B, será en razon de su magnitud. Para expresar esta circunstancia se usa en Matemáticas el término *proporcional*, y se dice que el cuerpo B es atrahido por el cuerpo A con una fuerza proporcional á su masa; lo qual significa que si la masa del cuerpo B fuese dos, tres ó quatro veces mayor, la fuerza lo seria igualmente. Así, hablando del cuerpo atrahente A, se dice que la fuerza con que atrahe al cuerpo B, es proporcional á su masa, permaneciendo las mismas la masa de B, y la distancia AB. Observemos que quando se habla de la cantidad del cuerpo atrahente A, ó del cuerpo atrahido B, se entiende la cantidad de materia que contienen, y no su extension. V. A. se acordará de que los cuerpos varían mucho en esto, y que hay algunos que en muy corta extension, encierran mucha materia, como el oro, por exemplo; y otros, como el ayre, contienen muy poca en mucha extension. Por consiguiente, quando se trata de los cuerpos, se debe siempre juzgar por la

cantidad de materia que contienen ; esto es lo que se entiende por su masa. Fáltame solo exâminar el tercer punto , esto es , la distancia AB de los dos cuerpos , suponiendo que estos permanecen los mismos. Siempre que se aumenta la distancia AB , se disminuye la atraccion , y se aumenta acercando los cuerpos , pero segun una ley que es ménos fácil de expresar. Quando la distancia es dos veces mayor, la fuerza con que el cuerpo B es atrahido hácia A , será dos veces dos ó quatro veces menor ; y si la distancia es triple, la fuerza de atraccion será tres veces tres, esto es, nueve veces menor. Si la distancia fuese quatro veces mayor , la fuerza de atraccion será quatro veces quatro, ó diez y seis veces menor , y así en adelante. Finalmente á una distancia cien veces mayor , la fuerza de atraccion será cien veces ciento , ó diez mil veces menor. De lo qual se colige , que si la distancia es sumamente grande , la fuerza de atraccion será casi insensible : y recíprocamente , quando la distancia AB es muy pequeña , podrá ser aquella muy considerable , aun quando los cuerpos sean muy pequeños. = A 11 de Setiembre de 1760.

CARTA 61.

Vimos que quando un cuerpo B es atrahido por otro A, la fuerza de atraccion es Fig. 30. proporcional á la masa del cuerpo atrahente A, y á la del atrahido B; pero depende de tal modo de la distancia de estos cuerpos, que si esta llegase á ser dos, tres, quatro, ó cinco veces mayor, la fuerza de atraccion seria, quatro, nueve, diez y seis, ó veinte y cinco veces menor. Para ver la ley que siguen estas cantidades, se multiplicará por sí mismo el número que indica quantas veces se ha aumentado la distancia, y el producto enseñará quantas veces será menor la atraccion. Para entender claramente esta regla, debe observarse que quando se multiplica un número por sí mismo, el producto que resulta se llama *quadrado*, de modo que para hallar los quadrados, es menester multiplicar los números por sí mismos: así el quadrado de 2 es 4; el de 3 es 9; el de 4 es 16, y así en adelante: el quadrado del número 12 es 144. El quadrado de un número qualquiera no es pues otra cosa que el producto de dicho número multiplicado por el mismo número. Si se multiplica 258 por 258, el pro-

ducto será 66564; y á este producto se le llama quadrado.

Puesto que se ha de multiplicar por sí misma la distancia de los cuerpos, es claro que la fuerza de atraccion disminuye tanto como el quadrado de la distancia se aumenta, ó que el quadrado de la distancia es tantas veces mayor quantas la fuerza de atraccion disminuye. Los Matemáticos, quando tratan estas materias, usan varias expresiones, cuya significacion conviene conocer, porque se oyen muchas veces en la conversacion. Si la fuerza atractiva aumentase en razon del quadrado de la distancia, se diria que era proporcional al quadrado de la distancia; pero como sucede puntualmente lo contrario, que se disminuye á proporcion que el quadrado de la distancia se aumenta, se emplea la voz *recíprocamente* para indicar esto, diciendo que la fuerza es recíprocamente proporcional al quadrado de la distancia. Este modo de hablar es geométrico, y V. A. comprehenderá bien su sentido, pues se refiere á lo que acabo de exponer. Para juzgar pues de la fuerza que un cuerpo exerce sobre otro, no hay sino observar que dicha fuerza es proporcional, 1.º á la masa del cuerpo atrahente; 2.º á la del cuerpo atrahido; 3.º y recíprocamente al quadrado de la distancia. De esto se infiere que aunque las estrellas fixas atrahigan á la Tierra y demas planetas, esta fuerza debe ser insensible, por su distancia

prodigiosa. En efecto, si suponemos la masa de una estrella fixa, igual á la del Sol, á distancias iguales aquella atraheria á la Tierra con tanta fuerza como este; pero siendo la distancia de la estrella fixa 400000 veces mayor que la del Sol, y siendo el quadrado de este número 160000.000000, ó ciento y sesenta mil millones, la fuerza con que obra sobre nuestro globo será ciento y sesenta mil millones de veces menor que la del Sol, y por consiguiente demasiado débil para producir efecto sensible. Por esta razon, la fuerza atractiva de las estrellas fixas no altera en nada el movimiento de la Tierra, de los planetas ni de la Luna; pero la del Sol regla principalmente sus movimientos, porque su masa es muchos millares de veces mayor que la masa de cada planeta.

Ademas de esto, quando dos planetas se acercan, de manera que su distancia es mucho menor que la del Sol, su fuerza atractiva se aumenta, y podria llegar á turbar sus movimientos. Efectivamente se nota esta alteracion; lo que es una prueba muy poderosa del sistema de la gravitacion. Por consiguiente quando un cometa se acerca mucho á un planeta, podrá alterar su movimiento. = A 13 de Setiembre de 1760.

CARTA 62.

Por lo que llevamos dicho acerca de la fuerza con que se atrahen mútuamente los cuerpos celestes segun su masa y su distancia, comprehenderá fácilmente V. A. cómo se pueden determinar sus movimientos, y señalar, en qualquier tiempo, el lugar verdadero en que se hallará cada cuerpo. En esto consiste la Astronomía, cuyo objeto es el conocimiento exâcto del movimiento de los cuerpos celestes, para poder determinar, para cada momento así pasado como futuro, el parage en que se ha de hallar cada uno, y en qué lugar del Cielo debe aparecer, visto desde la Tierra, ó desde otro lugar qualquiera del mundo. La ciencia que trata del movimiento en general se llama *Mecánica* ó *Dinámica*: su objeto es determinar el movimiento de qualesquiera cuerpos que están animados por una fuerza qualquiera. Esta ciencia es una de las principales partes de las Matemáticas, y los que se aplican á ellas, ponen todo su conato en llevar la Mecánica á su mas alto grado de perfeccion. Pero estas materias son tan arduas, que nadie puede aun alabarse de haberlas tratado general-

mente, siendo preciso contentarse con ir adelantando poco á poco. No hay mas de diez á veinte años, que se hacen regulares progresos en estos puntos, y sobre ellos propone todos los años la Academia de las Ciencias de Paris, premios que se dan á los que mejor lo desempeñan. La mayor dificultad proviene del número de fuerzas que obran sobre los cuerpos celestes. Si cada uno no estuviese atrahido mas que hácia un solo punto, no habria cosa mas fácil; y el grande Newton, que murió en 1728, determinó el primero, completamente, el movimiento de dos cuerpos que se atrahen segun la ley de que he hablado. Segun ella, si la Tierra no estuviese atrahida mas que por el Sol, se conoceria bien su movimiento, y no habria mas que hacer: lo mismo sucederia con los demas planetas Saturno, Júpiter, Marte, Venus y Mercurio, si solo estuviesen atrahidos por el Sol. Pero como la Tierra está atrahida no solo por este, sino por todos los demas cuerpos celestes, la qüestion se hace infinitamente mas complicada, y difícil, por causa de tantas fuerzas á que es menester atender (*a*). Sin embargo se pueden despreciar

(*a*) Por lo comun se combinan de tres en tres, esto es, se busca el efecto que resulta de las atracciones de dos cuerpos sobre un tercero. Este problema célebre, conocido con el nombre de problema de los tres cuerpos, ha sido el objeto de las tareas de todos los célebres Geómetras de nuestro siglo; y aunque hasta aho-

las fuerzas con que está atrahida por las estrellas fixas, porque aunque sus masas sean grandes, están tan distantes, que se puede mirar como nula la fuerza que exercen sobre la Tierra; de modo que el movimiento de esta, así como el de los demas planetas, será siempre el mismo que seria si no exîstiesen las estrellas fixas. Por consiguiente ademas de la fuerza del Sol, solo hay que considerar las fuerzas con que los planetas se atrahen recíprocamente, las quales son sumamente pequeñas en comparacion de la que el Sol exerce sobre cada uno de ellos, por ser su masa mucho mayor que la masa de estos.

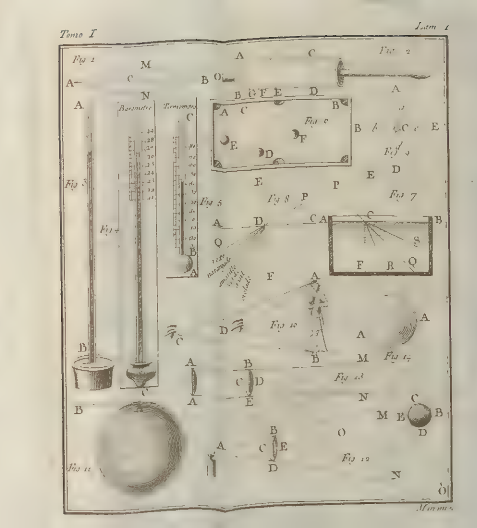
Pero como estas fuerzas se aumentan si se disminuye la distancia, de manera que una fuerza quatro veces mayor corresponde á una distancia dos veces menor, y así en adelante, segun los quadrados de los números, como queda explicado en mi carta precedente, seria posible que dos planetas se acercasen tanto, que su fuerza atractiva fuese igual y aun mayor que la del Sol. No obstante en nuestro sistema no llega jamas este caso, permaneciendo siempre los planetas tan distantes entre sí, que su fuerza atractiva es sin comparacion menor que la del Sol. Por lo qual, ciñéndonos á estos conocimientos, podemos mirar cada planeta como si solo

ra no lo han resuelto sinó por aproxîmacion, se han hecho bellísimas aplicaciones, como son la teoría de la Luna, la de Júpiter y Saturno &c.

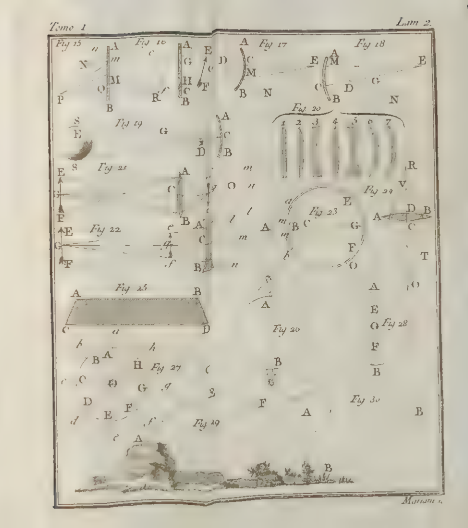
estuviese atrahido por la fuerza del Sol, y por este medio es fácil determinar su movimiento: lo que, á la verdad, no tiene lugar sino quando solo se quiere un resultado aproxîmado: porque en queriendo instruirse mas latamente, es menester atender á las fuerzas con que los planetas obran unos en otros, las quales producen efectivamente ciertas irregularidades que los Astrónomos notan con mucha freqüencia en sus observaciones; y estos y los Geómetras emplean toda su sagacidad en conocerlas bien. = A 15 de Setiembre de 1760.

FIN DEL TOMO I.




Barometro
Termometro
Fig. 3
Fig. 4
Fig. 5
Fig. 6
Fig. 7
Fig. 8
Fig. 10
Fig. 11
Fig. 12
Fig. 13
Fig. 14





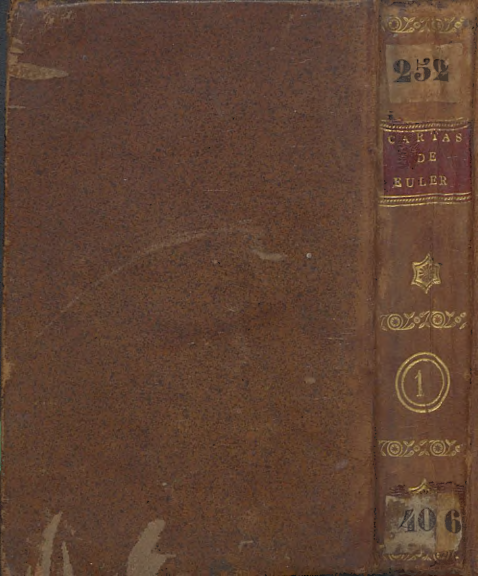
Tomo I
Lam. 2.
Fig 15
Fig 16
Fig 17
Fig 18
Fig 19
Fig 20
Fig 21
Fig 22
Fig 23
Fig 24
Fig 25
Fig 27
Fig 28
Fig 29
Fig 30
Mariani s.




Ll·4t






252
CARTAS
DE
EULER
1
406


colorchecker CLASSIC
calibrite
mm